

中学校課程を対象とした土壌微生物 による分解作用の教材化

An attempt to organize a series of experiments for the teaching of degradation
by soil microorganisms at the junior high school level

鈴木 彰・小川 邦生*
Akira Suzuki, Kunio Ogawa

緒 言

地球上における物質の循環の特色は物理的・化学的要因とともに生物的要因が重要な役割を演じていることであろう。20世紀に入ってから、人類の社会活動が地球上の物質の循環に少なからぬ影響を与えるようになったが、生命活動が地球上における物質の循環の主役であることには変わりがない。生態学では物質循環への関わりから生物を生産者、消費者、分解者¹⁾に大別することが多い。地球上が生物遺体や排泄物で埋まらないのは、分解者がこれらの有機物を二酸化炭素、水、アンモニアなどの無機物に分解し、土壌中、大気中、水中に還元しているからである。分解者の多くは土壌生物であり、とりわけ微生物²⁾は、有機物分解の基盤をなすものとして重要な位置を占めている。

物質循環を、小・中学生に学習させるためには、肉眼でみることの不可能な、あるいは困難な微生物の存在とその活動を実感させ、理解させる方法を開発することが必要となる。微生物の存在を肉眼で確認させるためには培養を必要とすることが多く、培養技術の習得、特に無菌培養法の習熟が要求される。また、培養には、病原微生物の混入、増殖の危険が伴う。このため微生物教材として、小・中学校レベルで利用可能な実験・観察方法もおおのずと限られたものとならざるをえない。小・中学校で微生物に関する教育が忘れられがちだった一因はこのあたりにもあると思われる。我々を取り巻く自然界のメンバーを理解させるためにも小・中学校理科において、微生物界の存在を理解させ、その自然界での位置づけを理解させることが望まれる。幸い中学校レベルでは、工夫しだいでは実験を組み入れ、微生物教材を扱うことも可能と考えられる。

微生物に関する中学校理科での従来の扱いは、微生物を分解者として位置づけることよりも、微小な生物として、主に形態を中心とした特徴を学習させることであり、培養実験を行う場合も条件統一の方法を学習させるのがねらいで、培養実験に伴う基物(基質)の分解については重視されなかった。近年、環境教育が叫ばれ、昭和56年度から実施されている学習指導要領で、生物どうしの関わり、物質循環や環境などの内容の充実が図られ、ようやく微生物の分解作用が中学校3年の教材として明確に位置づけられた。

これらの状況に鑑みて、本稿では中学校課程を対象とした微生物による分解作用の教材化を、土壌微生物を材料として試みた。

* 葛城中学校 (〒280 千葉県葛城2-9-1)

生物の存在とその活動を認識することの第一歩、その根源は、自然界に於ける生物の姿をありのままに観察し、理解することであろう。このためには、先ず教師が自然をみる目を養い、それを生徒に伝える方法を練り上げていくことが要求される。土壌生物による分解作用を認識させる最も優れた教材は、ありのままの自然、例えば遺体、糞などの分解の様子やそこにみられる微生物の生育、遷移の様子などであろう(青木, 1973; 徳増, 1978; 渡辺, 1978; 宇田川・古谷, 1979; 小川真, 1980; 斉藤・相馬, 1980)。これらは森林生態学や土壌生物学などの研究課題の大項目であるため、多くの研究がなされており、比較的容易に教育現場への導入が可能な分野、研究方法から、逐一教材化の検討が加えられている。例えば、ツルグレン装置、ベールマン装置による土壌動物の抽出と観察を教材化したものなど(田沼, 1978; 中学校理科学習指導資料, 1979; 中島, 1979; 曾根原, 1979; 鈴木・奥田, 1980)、土壌動物学分野は比較的教材化が進んでいる。ミクロの世界とマクロの世界の接点にある小型土壌動物や糸状菌の存在を気づかせることは、ミクロの世界に親しんでいない中学生に、他の土壌微生物に対しても興味をいだかせる動機づけとなることが期待される。このような観点から、土壌動物に比べ教材化の立ち遅れている糸状菌による有機物分解に焦点を絞り、その教材化を試みた。糸状菌による有機物分解を教材化するには、糸状菌が分解の主体となる基物を選ぶことが得策と考え、植物基物を用いた。植物基物の分解に関する研究法にも、落葉直後の葉を円板形に打ちぬき、これらを重ねて網にはさみ込んで落葉下に埋設し、その重量変化を追跡することにより落葉の消失速度を求める方法(中村ら, 1966)、細い棒に巻きつけたろ紙を表層土壌に埋設し、その重量変化を追跡することにより、土壌微生物のセルロース分解能の消長を推定する方法、A₀層の落葉を各種メッシュのふるいによって分画し、分解型を解析する方法(小川真ら, 1978)など一工夫することによって比較的容易に教育現場への導入が可能と考えられるものもある。また、ろ紙崩壊度によるセルロース活性の測定法(北御門・外山, 1962)などのように容易に室内でのモデル実験として教材化が可能な手法もある。既にこれらの研究法を改良して植物基物の分解を教材化したものもいくつかある(曾根原, 1979; 遠藤, 1980; 村杉, 1980)。微生物による植物遺体の分解に関わるもののうち、野外実験および、野外実験を校内に持ち込んだものとしては、葉、ろ紙などを埋設し、その分解を観察するもの(Cunningham *et al.*, 1975; 曾根原, 1979; 遠藤, 1980; 村杉, 1980)、微生物の代謝活性を示すモデル実験としては、土壌呼吸の検証法(高井ら, 1977; 田沼, 1978; 中学校理科学習指導資料, 1979; 中島, 1979; 小川邦生, 1979; 曾根原, 1979; 奥田, 1980)、セルロースや澱粉の分解を観察するもの(高井ら, 1977; 田沼, 1978; 中島, 1979; 曾根原, 1979; 村杉, 1980; 奥田, 1980; 鈴木・奥田, 1980)などがあり、教材化が比較的進んでいるが、素材を個々にとりあげたもの、多くの教材を並列に網らしたものが多。土壌微生物による植物遺体の分解に関する教材を展開し構造化した試みは村杉(1980)によるセルロースの分解を柱としたもの、遠藤(1980)、鈴木・奥田(1980)による葉の分解を柱にしたものがあるのみである。本稿では葉と共に植物遺体中に占める割合が高い樹幹・樹枝を、土壌微生物による分解の教材として選んだ。樹幹・樹枝の分解を教材化する試みも、野外観察に基づくものは報告されている(遠藤, 1980)。ここでは身近で安価な木製品を用い、それぞれの素材の特徴を生かして、室内実験あるいは校地内で可能な野外実験を開発し、教材化することを試みた。さらにこれらの教材と遠藤(1980)による野外観察とを合わせて、微生物による分解に関する教材を樹幹・樹枝の分解を柱として展開し、構造化することを検討した。

材料および方法

(1) セロハン紙の分解

市販のセロハン紙(厚さ, 約0.02 mm)を10×5 cmの大きさに切り, 土壌中に埋設しやすくするために直径2.5~3.0 mmの鉄線で作った枠に木綿糸で縫いつけた(写真1)。

室内実験は土壌動物をメッシュNo. 32のふるいで除いた土を植木鉢や水槽に入れ, セロハン紙を上部が土壌から一部出る程度に埋設し, 室温で昭和54年9月14日~昭和54年11月13日まで放置後観察した。野外実験は, 千葉県教育センター(以下, 教育センターとする)の実習園の畑(K₁地点)で室内実験と同一期間, 同一の方法で行った。

(2) 無機培地中でのろ紙の分解

定性ろ紙(東洋ろ紙No. 2)を試験管(18×180 mm)に入る大きさの短冊型に切断したものを使用した。セルロース分解用無機質培地,³⁾または, 0.1% ハイポネックス水溶液⁴⁾を試験管に10~15 ml ずつ分注する。これに教育センターの実習園の黒色土壌を耳かき1杯程度加えてよく攪

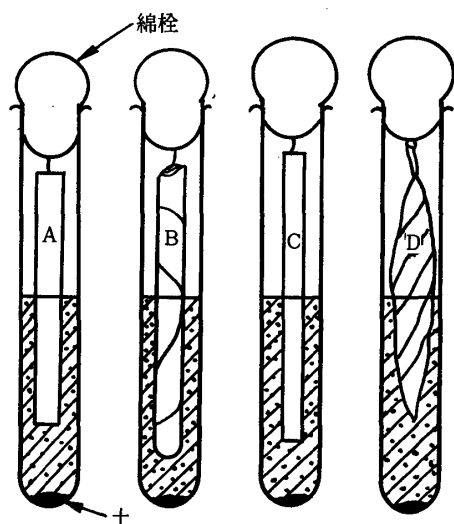


図1. 試料の設置方法(浸漬法)

A: 短冊型のろ紙, B: 葉巻型のろ紙, C: バルサ角材または割箸, D: 落葉。斜線部: セルロース分解用無機質培地あるいは0.1%ハイポネックス水溶液。試験管(18×180 mm)。

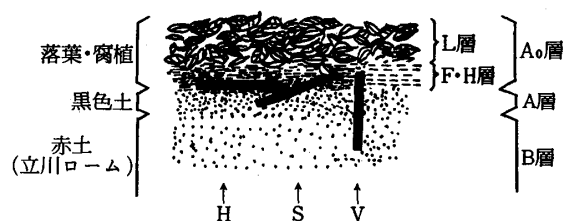


図2. 割箸の埋設方法

H: A層下部に水平に埋設(水平ざし), S: A₀~A層上部に斜めに埋設(斜めざし), V: A₀~A層上部に垂直に埋設(垂直ざし)。

伴し, ろ紙の半分程度が液面にできるように入れる(図1)。無機培地の対照として蒸留水, 短冊型のろ紙の対照として東洋ろ紙No. 2を葉巻型に巻いたもの, バルサ角材(4×5×10 mm), 広葉樹材・夫婦利久型の割箸を1/2の長さに切断したもの, およびスダジイの落葉を, 短冊型のろ紙と同じように試料の半分程度が液面に出るようにし, 綿栓後, 実験室南側の暗い場所に約2ヵ月置き(昭和55年11月15日~昭和56年1月15日), 毎週観察した(図1)。

(3) ろ紙とバルサ角材の分解速度の比較

前記と同様の方法で葉巻型に巻いたろ紙とバルサ角材の分解速度を比較した。無機培地としては0.1%ハイポネックス水溶液を使用した。実験試料は暗所で24°Cに保ち、2週間ごとにそれぞれ5本ずつ回収した。試料は風乾後、95~100°Cで1時間乾燥し⁵⁾、感量10mgの天秤で、5本を1束としてそれぞれ乾燥重量を測定した。重量減少率(%)⁶⁾を指標として両者の崩壊速度を比較した。

$$\text{重量減少率(\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

W_1 ……実験前の乾燥重量。 W_2 ……実験後の乾燥重量。

(4) セルラーゼによるろ紙の分解

セルロース分解能の高い *Trichoderma* の粗製セルラーゼ(全日本生化学(株))を使用した。1%セルラーゼ水溶液を試験管に5mlずつ分注し、それぞれ乾燥重量を測定したろ紙片(東洋ろ紙No.2を2×1cmに切断したもの)を各2枚ずつ加え、室温(18°C以下)、25°C(定温器)、45°C(湯せん)で反応させた。対照区としては、15分間煮沸した1%セルラーゼ水溶液と蒸留水をそれぞれ5mlずつ分注したものにろ紙片を各2枚ずつ加え、室温で反応させた。各区それぞれ5本ずつ、24時間経時的に観察した。実験は主に静置状態で行ったが、室温と45°Cの一部については5分ごとに1分間の手による振盪実験を加えた。セルロースの分解生成物であるブドウ糖の検出にはベネディクト液⁷⁾、または尿糖試験紙⁸⁾を使用した。

(5) 野外でのろ紙の分解

乾燥(95~100°C, 1時間⁵⁾)重量を測定したろ紙(東洋ろ紙No.2)を割箸(広葉樹材, 夫婦利久型)を芯として1枚ずつ巻きつけ、ホッチキス(No.10)で固定した。割箸の端には黒ボールペンで試料番号を記入し、これを各試料間の距離が約5cm離れるようにし、 C_1 区を除き、 A_0 ~ A 層上部に斜めに埋設した(図2参照)。期間は昭和54年11月1日~昭和55年1月15日とした。埋設場所は、分解作用に差が生じると予想される次の3地点とした。

C_1 地 点 ……教育センター内実習園の黒色土の畑(A_0 層を有さないので黒色土に斜めに埋設した)。

C_2 地 点 ……教育センター裏のスタジイを中心とする A_0 層(厚さ約8cm)。

Y 地 点 ……印旛郡八街町ススキ草原の A_0 層(厚さ約2cm)。

2週間ごとに実験区からランダムに5本ずつろ紙を掘り出し観察した。観察後ろ紙は付着した土を軽く水洗して除き(水洗困難な付着土は風乾後除いた)、5本まとめて乾燥重量を測定し、重量減少率を求めた。

(6) バルサ角材、割箸の分解**1. バルサ角材の分解**

バルサ材は軽く加工しやすいので、模型飛行機の部材などとして利用されており入手しやすい。規格には各種のものがあるが、厚さ4mmの板をカッターナイフで4×5×200mmのほぼ割箸大に切断して実験に用いた。端には黒ボールペンで試料番号を記入し、その上から透明ペイントを塗り色別し、 C_1 区を除き A_0 層下部から A 層上部にかけて斜めに埋設した。試料間は2~3cmの距離を保った。試料は昭和54年11月1日~昭和55年11月15日の間、2週間に一回、5本ず

つ実験区からランダムに回収した。材表面を観察後、ろ紙と同様の手順で付着土を取り除き、5本まとめて乾燥(95~100℃, 1時間⁵)重量を測定し、これをもとに重量減少率を求めた。埋設場所はろ紙の場合と同様の地点とした。

2. 割箸の分解

割箸をどのような方向で土壌に埋設すると分解作用が強いかを調べるために、広葉樹材、夫婦利久型の割箸をH地点のA₀層下部に水平に、A₀~A層上部に斜めあるいは垂直に埋設し(図2), 分解度の相違を埋設後1年目(昭和55年5月18日~昭和56年6月20日)に調査した。その他の実験では、特にことわらぬかぎり、昭和55年5月1日~昭和56年7月3日の間、A₀層~A層上部に斜めに埋設し、バルサ角材と同様の手順で2カ月ごとに回収・観察後、重量減少率を求めた。埋設場所として次の3地点を設定した。

H 地 点……白幡神社(千葉市萩台町)付近の林内で、南東向きの半日陰の地でA₀層の厚さは約7cm, 下部は湿っている。スダジイ(亜高木), アオキ(低木)が優占する常緑広葉樹林である。付近は民家もあるが、比較的自然環境が良く保存されている。

K₁ 地 点……葛城中学校教材園内(千葉市葛城)の赤土(立川ローム層上部で校庭の土壌と類似の組成で有機物が少なく、微生物の活動も不活発と考えられる)の裸地。A₀層を有しないので、裸地に斜めに埋設した。

K₂ 地 点……葛城中学校の教材園内に設けた、1×1mの枠内にスダジイを中心とする広葉樹の落葉を人工的に約20cmの厚さに堆積させて設けた落葉層。東西の木と南側の家屋のための直射日光の当たる時間は約4時間であり、落葉層の下部は湿っていた。落葉層~元の土壌上部に斜めに埋設した。

T 地 点……東京大学農学部附属千葉演習林(千葉県安房郡清澄山)のアラカシ、モミ、スダジイなどを中心とする天然林(標高約300m)。A₀層は約3cmであった。なお、この実験区に限り、割箸は2cmの間隔を保って埋設し、隣接する3あるいは5本を単位として、実験地区内のランダムに選んだ4カ所から計16本ずつ毎月回収した。回収した箸は1本ずつ乾燥重量を測定した後、重量減少率を求めた。

結 果

(1) セロハン紙の分解

室内実験では約2カ月(昭和54年9月14日~昭和54年11月13日)後には、セロハン紙の埋設部分がほとんど消失した(写真1)。

野外実験においてもほぼ同様の分解状態を呈したが、室内実験に比し分解が顕著であり、セロハン紙とともに枠の木綿糸も一部消失していた(写真2)。付着した土を軽く落とした後セロハンの表面を直接検鏡すると多くの糸状菌がみられた。この内には *Stachybotrys chartarum* (スタキボトリス中毒原因菌)も含まれていた。

(2) ろ紙の分解

1. 室内実験

A) 無機培地中でのろ紙の分解

短冊型のろ紙ではセルロース分解用無機質培地、ハイポネックス水溶液いずれを使用した場

合も培養後1週間で液面付近のろ紙表面に菌糸がみられた。その後液面付近のろ紙は徐々に黒変し、約2ヵ月後液面付近から切れた。葉巻型のろ紙では、培地の種類にかかわらず培養2週間後に液面付近から黒変が始まった。時間の経過と共に黒変部はろ紙の主に下部(液中)へ進行し、約8週間後液面下の試料全面が黒変した。8週間以内ではろ紙の切断は観察されなかった(写真3)。いずれの場合も、培養液中には細菌の増殖が認められた。対照区の蒸留水に浸したろ紙では2ヵ月後にわずかに液面付近が黄変するのみであった。セルロース分解用無機質培地あるいはハイポネックス水溶液に浸して培養を続けた割箸、バルサ角材、木の葉においては1週間後には液面付近の試料表面に菌糸がみられ約4週間後から液面付近の材質表面が黒変し始めた。黒変は主に下部に進行するが、2ヵ月間の観察では液面下の試料全面には広がらなかった。黒変の速さはバ

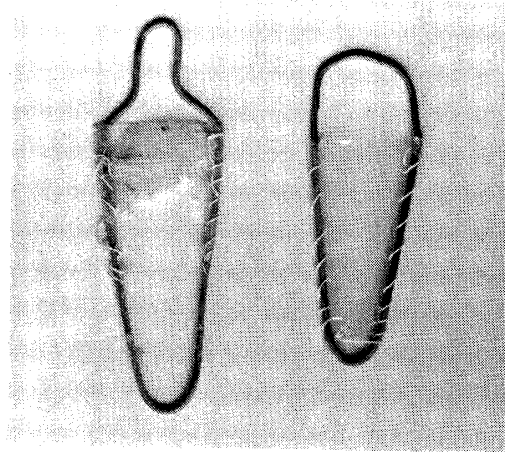


写真1. 室内の土壌に埋設したセロハン紙の分解・消失

右側のもは埋設前の状態で、セロハン紙は木綿糸で針金枠に固定されている。左側のもは埋設2ヵ月後(昭和54年9月14日～昭和54年11月13日)の状態で、埋設部分のセロハン紙が消失している。

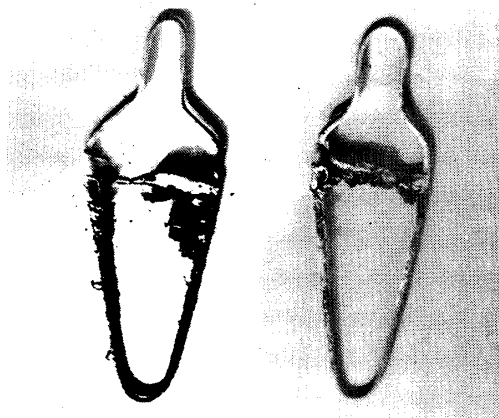


写真2. 野外に埋設したセロハン紙の分解・消失

左右のものともK₁地点(教育センター実習園の畑)に2ヵ月埋設(昭和54年9月14日～昭和54年11月13日)後の分解・消失状況を示す。セロハン紙のみならずセロハン紙固定用の木綿糸も消失している。

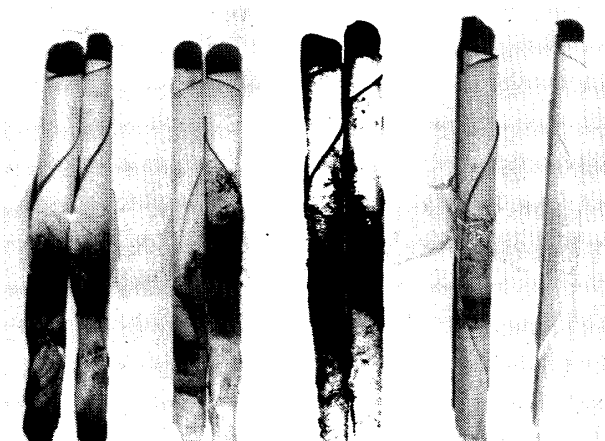


写真3. 葉巻型のろ紙の分解(室内実験)

少量の土壌を含む0.1%ハイポネックス水溶液中に24℃で放置したろ紙。向って右のものから、浸漬前(1本)、2週間後(1本)、4週間後(2本)、6週間後(2本)、8週間後(2本)のろ紙。液面付近から液内に向ってろ紙の黒変が進行していく。

ルサ角材、木の葉、割箸の順であったが、2ヵ月間の観察では材質の切断は観察されなかった。なお、バルサ角材(ハイポネックス水溶液)から *Chaetomium brasiliense*, *Aspergillus niger*, *A. terreus* など、割箸(ハイポネックス水溶液)からは *A. fumigatus*, *Penicillium* sp. などが分離された。

B) ろ紙とバルサ角材の分解速度の比較

実験開始2週間後ではろ紙はバルサ角材に比し約5倍の重量減少率を示した。その後バルサ角材の重量減少率が急激に増大した。実験開始6週間後頃には両者の重量減少率はほぼ等しくなり、以後徐々に上昇を続けた(図3)。

C) セルラーゼによるろ紙の分解

室温に静置したセルラーゼ水溶液中のろ紙では実験開始約30分後に紙片が膨らみ、ベネディクト水溶液とテスト・テープとも呈色反応を示した。また、紙片から気泡の発生がみられた。約80分後には紙片の下部の角が丸みを帯びたが、ろ紙自体の大きさや形に大きな変化はみられなかった。24時間後でも完全に崩壊したろ紙はみられなかったが、試験管を手で振盪すると紙片は崩壊した。煮沸したセルラーゼ水溶液中および蒸留水中のろ紙でも実験開始約30分後頃から紙片が徐々に膨らみ始めた。前者ではベネディクト水溶液とテスト・テープは弱い呈色反応を示した。この呈色反応は混入したブドウ糖によるものと思われる。蒸留水中のろ紙では両呈色反応とも認められなかった。両区とも24時間後でも紙片の形の変化はまったく認められなかったが、試験管を強く振盪すると紙片は崩壊した。静置したろ紙片の約2時間後の分解の進行程度を重量減少率、テスト・テープの呈色反応によって比較すると、45℃区、25℃区、室温区、煮沸セル

コース水溶液区，蒸留水区の順であった(表1)。

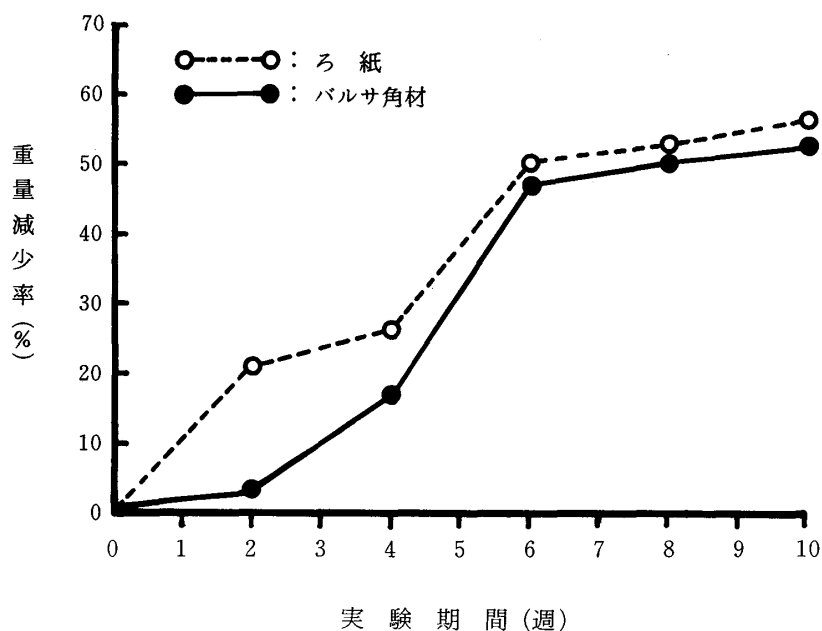


図3. ハイポネックス水溶液中でのろ紙とバルサ角材の分解

葉巻型に巻いたろ紙とバルサ角材を，それぞれ試料の中央部が培地面にくるように設置した。培地は0.1%ハイポネックス水溶液に少量の土を加えたものを使用した。分解は24℃，暗所でおこなった。2週間ごとに両実験区からそれぞれ5本ずつ試料を回収後，5本まとめて乾燥重量を測定し，重量減少率を求めた。

表1. セルラーゼによるろ紙の分解

1%セルラーゼ水溶液(pHは調整せず)中にろ紙を約2時間静置した時の結果。

反 応 液	反 応 温 度	重量減少率(%)	尿糖試験紙*の 呈色反応
セルラーゼ水溶液	45℃	10	卅
	25℃	6	卅
	室温(18℃以下)	3	卄
セルラーゼ水溶液(煮沸)	室温(18℃以下)	1	+
蒸 留 水	室温(18℃以下)	1	—

*テスト・テープ

卅:ブドウ糖 2%以上, 卅:ブドウ糖 1/2%, 卄:ブドウ糖 1/4%,
+:ブドウ糖 1/10%, —:ブドウ糖 約0%.

一方、間欠的に振盪したろ紙片は、45℃区では実験開始約30分後に $\frac{1}{2}$ 程度の大きさになり、約1時間後には完全に崩壊した。室温区のろ紙片では実験開始1時間後に $\frac{1}{2}$ 程度の大きさとなったが、崩壊には至らなかった。

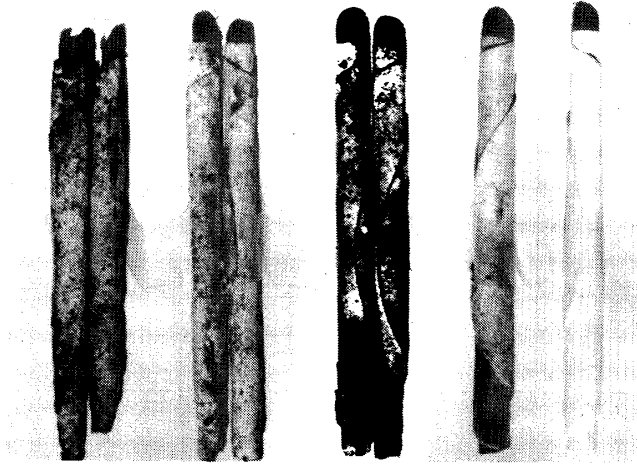


写真4. C₁地点でのろ紙の分解

向って右のものから埋設前(1本)、2週間後(1本)、4週間後(2本)、6週間後(2本)、8週間後(2本)のろ紙。葉巻型に巻いたろ紙の外側や両端から内部の方へ分解は進行していく。実験期間: 昭和54年11月1日～昭和55年1月1日。

2. 野外実験

ろ紙を実験区から回収する際は、脆くなったろ紙が崩れて土中に残留することがあり、埋設時以上に注意して掘り出す必要がある。付着した土は軽く水洗して除くが、水洗によって除去不能な土は乾燥後取り除いた。回収したろ紙の分解の様子を観察しまとめると表2のようになった(写真4)。一方、埋設したろ紙の分解を重量減少率で比較すると、C₁区のろ紙では埋設開始後10週間はほぼ一定の割合で分解が進んだ(図4)。C₂区のろ紙では埋設開始後2～4週目の間に分解が急激に進行したがその他の期間はほぼ一定の割合で徐々に分解が進んだ(図4)。Y区のろ紙の分解の進行速度はC₁区のものとはほぼ等しく、全期間ほぼ一定の値を示した(図4)。埋設開始後10週目のろ紙の重量減少率はそれぞれC₁区のものでは28%、C₂区のものでは82%、Y区のものでは40%に達した(図4)。埋設開始後2週目には3区のろ紙とも表面に何らかの変化が認められ、C₂区のものでは菌糸も観察された(写真5)。6週間後には3区のろ紙とも表面に食害跡と思われるくぼみがみられ、特にC₂区のもののはくぼみが葉巻型ろ紙の内部に深くおよんでいた(写真6)。C₂区では他区に比べてろ紙の分解・消失が著しく、土壌中にはオカダンゴムシやミミズなどの土壌動物が特に多く確認された。C₂区でろ紙の分解・消失が著しかったの

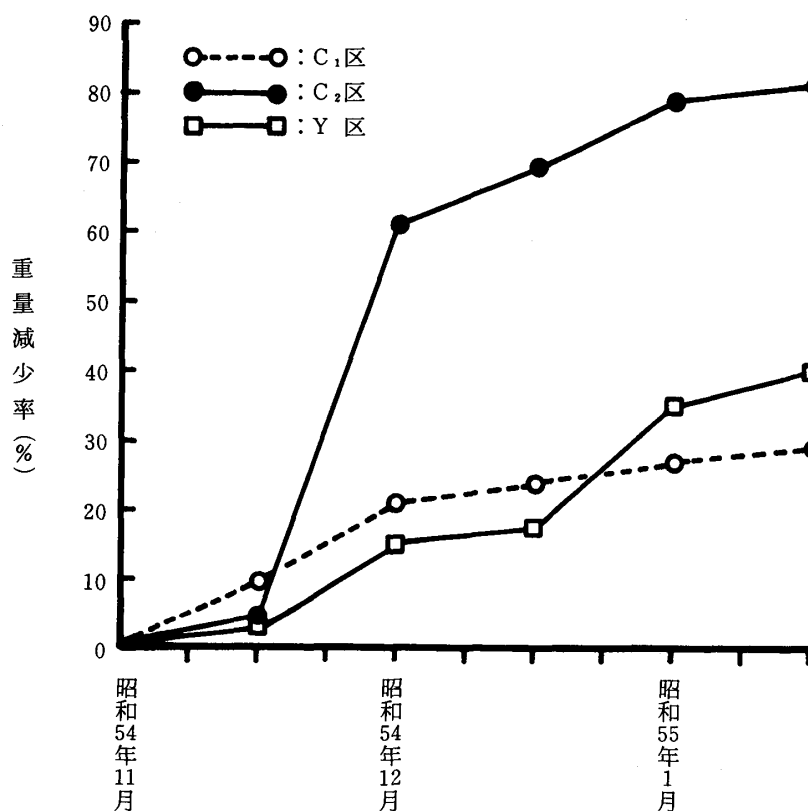


図4. 種々の埋設区におけるろ紙の重量減少率の経時変化

葉巻型に巻いたろ紙を各種土壌に斜めに埋設後、2週間ごとに5本ずつ回収した。5本まとめて乾燥重量を測定し、重量減少率を求めた。実験期間：昭和54年11月1日～昭和55年1月15日。埋設地点（p.92 参照）。

は、土壌微生物による分解作用に加え、土壌動物による食害が著しかったためと考えられる（表2，写真6）。

ろ紙の重量減少率とろ紙の分解を肉眼で観察したもの間にはほぼ対応がみられるので乾燥重量の減少を用いてろ紙の分解をある程度定量的に追跡することが可能と考えられる。



写真5. ろ紙を覆う菌糸

C₂ 地点に4週間埋設(昭和54年11月1日～昭和54年12月1日)後回収したろ紙。菌糸がろ紙表面を覆っている。
スケール: 2.5 mm。



写真6. C₂地点でのろ紙の分解

向って左のものから、埋設2週間後(1本), 4週間後(5本), 6週間後(5本)。実験期間: 昭和54年11月1日～昭和54年12月15日。C₁区のものに比し、分解の進行が著しい。

表2. ろ紙の分解状況
葉巻型ろ紙を昭和54年11月1日～昭和55年1月15日の期間埋設して
2週間に1度回収し表面の状態を肉眼で観察した。

埋設 地点	埋 設 期 間 (週)				
	2	4	6	8	10
C ₁	ろ紙上部は黒褐色に変色した。	ろ紙上部が一部消失し、変色部が広がり菌糸が認められた。	ろ紙の消失が進み、表面にくぼみ*が認められた。	ろ紙の消失が進み、くぼみ*や穴*が増した。	一層、ろ紙の消失が進み、くぼみ*や穴*が増した。
C ₂	ろ紙の一部に菌糸がみられ、紙片の一部が消失した。	ろ紙の消失、変色ともC ₁ 区のものより著しかった。菌糸が認められるようになった。	ろ紙の消失が進み、C ₁ 区に比し大きなくぼみ*が認められた。	ろ紙の1/2以上が消失した。乾燥後のろ紙は非常に脆かった。	ろ紙の消失が進み、ほとんど回収できない場合もあった。
Y	ろ紙は部分的にわずかに黒褐色に変色した。	ろ紙の上部が一部消失し、変色部が広がり、菌糸が認められるようになった。	ろ紙表面にくぼみ*が認められたが、くぼみ*はC ₁ 区、C ₂ 区のものより小さかった。	ろ紙の消失が進み、穴*が認められた。	ろ紙の消失がさらに進み、穴*が増加した。

* 主に土壌動物の食害跡と思われる。

C₁地点: 県教育センター実習園, C₂地点: 県教育センター裏A₀層下部, Y地点: 印旛郡八街町ススキ草原A₀層下部。

(3) バルサ角材, 割箸の分解

1. 埋設方法の検討

バルサ角材, 割箸, ろ紙をどのような方向で土壌に埋設すると分解作用が強いかを割箸を材料としてH地点で調査したところ, A₀層下部に水平に埋設した試料の重量減少率が最大であり, 以下斜めに埋設したもの, 垂直に埋設したものの順であった(表3)。斜めに埋設したものの, 垂直に埋設したものともA₀層下部から黒色土上部に接する材表面に菌糸が多く, 材表面は黒褐色に変化した。以上のことからA₀層下部が最も微生物活動が高いと思われるが, 長期の実験では土壌動物によって攪乱される危険性が考えられる。校庭など落葉層の薄いあるいは無い場所での実験も考え合わせ, 今回の実験ではバルサ角材, 割箸, ろ紙とも土壌に斜めに埋設した。

表3. 割箸の埋設方向と分解力との関係

割箸をA₀層とA層の境に水平, あるいはA₀～A層上部に斜め, または垂直に埋設した(昭和55年5月18日), (図2参照)。1年後(昭和56年6月20日)に回収し, それぞれの重量減少率を求めた。埋設地点: H区。

埋 設 方 向	重量減少率 (%)
水平 ざし	74
斜め ざし	65
垂直 ざし	40

2. 分解の経時変化

バルサ角材、割箸(広葉樹材、夫婦利久型)とも、いずれの実験においても埋設後ほぼ一定の割合で分解が進行した(図5, 6)。バルサ角材ではC₁区のものとはC₂区、Y区のものに比して2割程度重量減少率が低かったが、3実験区のものとも重量減少率は埋設開始8週間後には20%以上に達した(図5)。

埋設時肌色をしていたバルサ角材は、C₁区、C₂区、Y区のものとも埋設開始2週間後を過ぎると黒褐色の斑点(菌による変色部分)が目立つようになり(写真7)、4週間後頃から地ぎわ部分を中心に菌糸束がみられた(写真8, 9)。その後徐々に黒褐色の斑点は材表面に広がり、8週間後には材全体がほぼ黒褐色に変化した。材そのものはしだいに脆くなり、埋設8週間後には

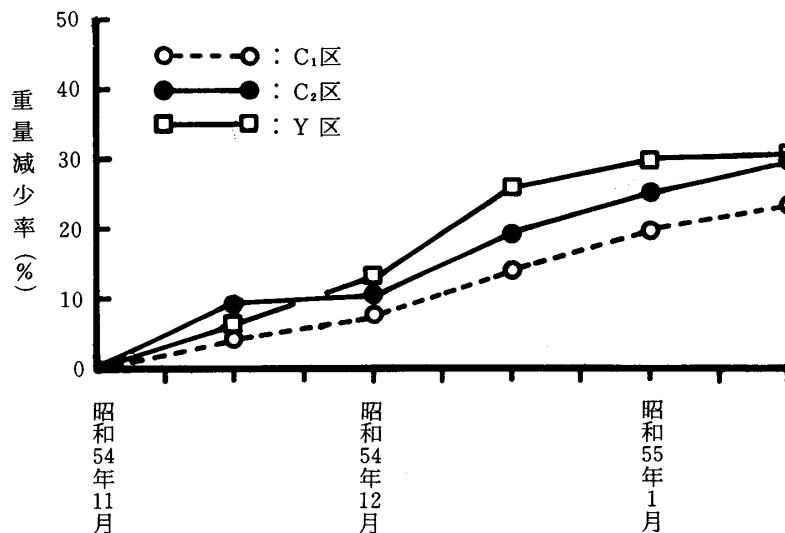


図5. 種々の埋設区におけるバルサ角材の重量減少率の経時変化

各種土壌にバルサ角材を斜めに埋設後2週間ごとに5本ずつ回収した。乾燥重量を測定し重量減少率を求めた。実験期間(昭和54年11月1日～昭和55年1月15日)。埋設地点(p.92 参照)。

つかむと海綿のような感触を示すものもあった(写真7～9)。バルサ角材では、ろ紙や割箸に比し食害跡と思われるくぼみや穴の確認は困難であった。埋設1年後には、断片状でしか回収できなくなるものが増した。腐朽型は海綿状白色朽であった。

割箸ではA₀層を有するH区、K₂区、T区のものについては埋設開始4～6カ月後に重量減少率は20%以上に達した(図6)。A₀層を有さぬK₁区のものでは、A₀層を有する実験区のものに比し重量減少率の増大は鈍く、重量減少率は埋設開始12～14カ月後に20%以上に達した(図6)。また、T区のものでは、埋設後4カ月目頃から重量減少率の増大が鈍化した(図6)。

H区、K₂区、T区では埋設時白色をしていた割箸は、埋設後1カ月目頃から地ぎわ部分を中心として表面に菌糸が認められ始め、2カ月後には表面に黒褐色の斑点、3カ月後には土壌動物による食害跡と思われるくぼみや穴が生じ黒色化も進んだ。埋設後6～7カ月からは、地ぎわ部分を中心に菌糸が付着するものや、くぼみや穴の認められるものが多くなった。埋設開始

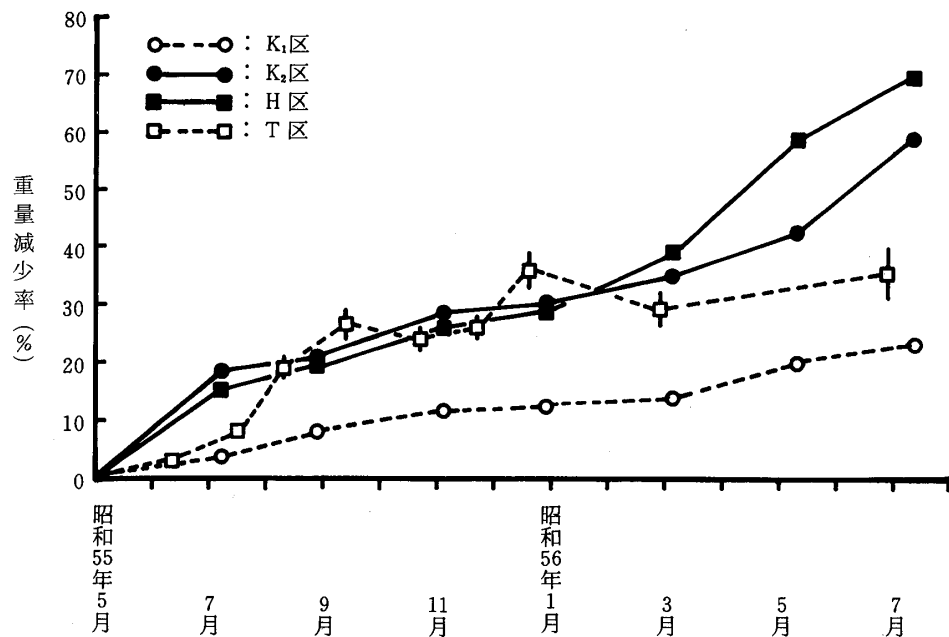


図6. 種々の埋設区における割箸の重量減少率の経時変化

各種土壌に割箸を斜めに埋設後、1～2ヵ月ごとに5本ずつ回収し、その重量減少率を調査した。実験期間(昭和55年5月1日～昭和56年7月3日)。H区、K₁区、K₂区では回収した割箸の乾燥重量を5本まとめて測定し、重量減少率を求めた。T区では割箸を毎回16本ずつ回収し、1本ずつ乾燥重量を求め、重量減少率の平均値と、その標準誤差(図中のバー)を求めた。埋設地点(p.93 参照)。

1年後には、材表面は菌糸や菌糸束で顕著に被われ、指で押すと縮む程多孔質化し(海綿状白色朽),回収は困難となった。

考 察

バルサ(広葉樹の一種)の分解速度は割箸のそれに比し速く(図5, 6), ろ紙の分解速度の $\frac{1}{3}$ ～1倍程度にも達した(図3～5)。広葉樹材では容積重が大になると腐朽速度が遅くなることが知られている(松岡ら, 1970)。バルサ角材の分解が速かったのは、その容積重が用材の内でも最も小さいことと関係あるものと考えられる。

H区、K₁区、K₂区の割箸では重量減少率の増大はほぼ一定の割合で進行した。一方、T区の割箸では埋設4～5ヵ月後頃から重量減少率の増大が著しく鈍化した(図6)。H区、K₁区、K₂区の割箸では埋設3ヵ月後から土壌動物によるものと思われるくぼみや穴(食害跡)が観察されるようになり、埋設5ヵ月後頃からその頻度がしだいに高くなった。

T区の割箸では埋設3～5ヵ月後頃に食害跡のみられる頻度が急激に高くなり以後その頻度は僅かずつ上昇した。割箸の場合もバルサ角材、ろ紙の場合と同様に、食害跡のみられる供試品の同一実験地点内における分布は一般に不均一で、局部的であった。T区の割箸に限り引きぬく際切断されたものについては重量測定をおこなわず、不足した試料分だけ切断されないも

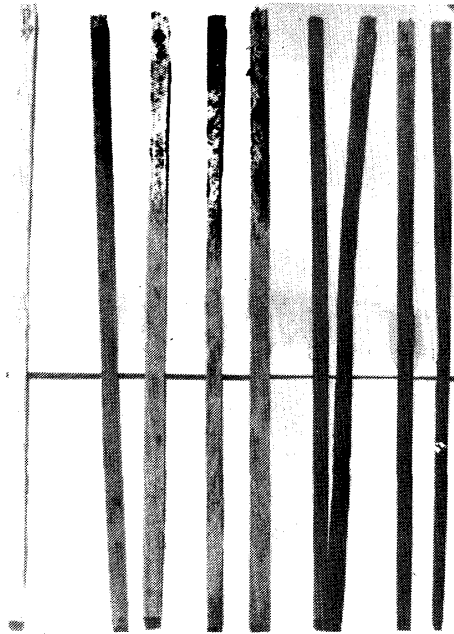


写真7. Y地点でのバルサ角材の分解

水洗，風乾後撮影。向って左のものから，埋設前(1本)，2週間後(2本)，4週間後(2本)，6週間後(2本)のバルサ角材。2週間後のものでは黒褐色の斑点が認められる。4週間後のものでは黒褐色の斑点が広がり，6週間後のものではほぼ全表面が黒褐色に変色している。6週間後の右側のものでは材が曲っている。材の分解に伴い風乾時に曲りやすくなった。実験期間：昭和54年11月1日～昭和54年12月16日。

のを新たに追加回収した。これらの原因でT区のは埋設2～4ヵ月後頃重量減少率の増大が顕著になり，相対的に埋設5ヵ月後頃から重量減少率が鈍化したものと考えられる。一方，H区，K₁区，K₂区では割箸をすべてランダムに選んで掘り起し回収したこと，埋設初期における土壤動物による攪乱が比較的少なかったことから，重量減少率の増大がほぼ一定の割合で進行したものと思われる(図6)。

今回の実験では，いずれの供試品も比較的埋設初期から重量の減少がみられた(図3, 5, 6)。これは，供試品がいずれも[表面積]/[体積]比が高かったため，木材腐朽菌が比較的容易に材内部まで侵入できたためではないかと考えられる。

割箸，バルサ角材の場合も，ろ紙の場合と同様，重量減少率と材の分解を肉眼で観察したもの間には分解初期からある程度の対応がみられた(図5, 6；写真7，参照)。

木材の腐朽程度を評価する物理的指標としては重量減少率以外に比重の減少，圧縮や曲げ強度の減少などがあげられる(雨宮，1963)。これらの内，特別な実験器具を必要とせず中学校段階で容易に導入が可能な方法は，破折試験による木材の機械的性質の低下の測定と考えられ

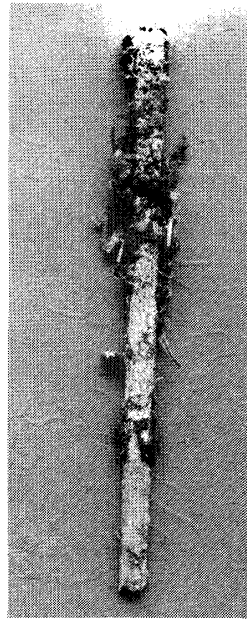


写真8. 埋設8週間後のバルサ角材の表面。

Y地点(昭和54年11月1日～昭和55年1月1日)
に埋設したものの回収直後の状況。菌糸束がみ
られる。

る。バルサ角材，割箸を乾燥後5 cmの間隔の机の上に固定し，ばねばかりで試料の中央部を引き，破折試験をおこなった結果，土壌を含むハイポネックス水溶液(24℃)に2カ月間設置したものでも(図3)，破折にそれぞれ0.15 kg/重，2.7 kg/重の力を要した。中学校の理科室には秤量100 gのばねばかりが設置されている場合が多く，測定には工夫が必要であろう。

以上のことから，材の分解を中学校レベルにおいて教材として，ある程度定量的に追跡するには，重量減少率を指標とするのが適当と考えられる。

供試品の重量減少率はA₀層に接する割合の高いもの程高い値を示した(図4～6，表3)。このことはA₀層は植物遺体の分解活性が高いことを示している。一方，裸地に人工的に落葉層を作って割箸を埋設した場合，重量減少率はA₀層を有する場合とほぼ同等の値を示した(図6)。このことは，校地近辺に適当な林が無い学校では，落葉を特定の場所に集積すれば土壌生物の比較的豊富な人工のフィールドを作ることができることを示しているものと思われる。なお，使用した割箸は，原木樹種を決定できなかった。阪口(1978 a, b)によると割箸によく使用される広葉樹種として，シラカンバ，シナノキ，オオバボダイジュ，イタリアポプラ，ハンノキなどがあげられている⁹⁾。

ろ紙は普通の紙と異なり，リグニン，タンパク質，油脂を含まず，サイズを加えられていないので(武藤，1974)，セルロース純度が高く，セルロース分解の実験材料に適している。定性

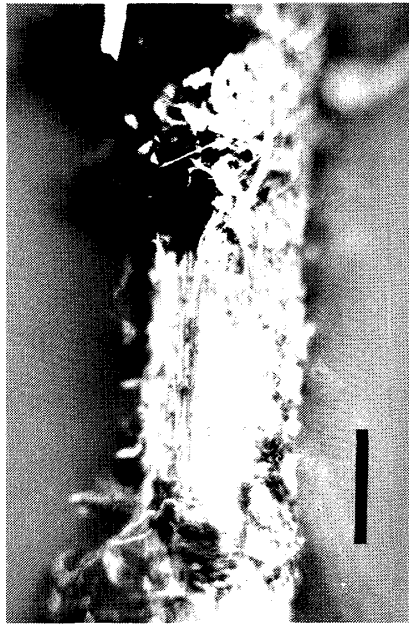


写真9. 埋設8週間後のバルサ角材の表面

写真8の試料の一部を拡大撮影したもの。材表面に菌糸束がからみ、海綿状白色朽の進行がみられる。スケール：4 mm。

分析用ろ紙は繊維の結合がゆるく(武藤, 1974), 各種商品中でも東洋ろ紙(No.2)は *Trichoderma* のセルラーゼによって容易に分解するものの一つである(北御門・外山, 1962)。ろ紙は木繊維¹⁰⁾の存在を肉眼で観察させることもできるので, 繊維を介して中学生に木材とろ紙の関係を実感させることも可能である。また, 紙は小学校5年の社会科教材にも木材製品として紹介もされている。このように, ろ紙は木材とセルロースの間をつなぐのに最適の教材と考えられる。ろ紙片を試験管内に半分程度水浸したものでは液面付近を中心に変色, 分解が進行したが, 土壌中に埋設した場合のように糸状菌の付着は顕著にはみられなかった(写真3)。これは水浸後綿栓をしたため新たに菌が侵入できなかったためか, あるいは, ろ紙表面に水分が多く, 土壌中に埋設した場合に比し, ろ紙表面の酸素が不足し, 好氣的条件下で活発に活動するセルロース分解糸状菌の活動が抑制され, 代わって嫌氣的条件下で活発に活動するセルロース分解細菌(Hudson, 1980)の活動が優先したため(p. 94参照)などが考えられる。

0.1%ハイポネックス水溶液あるいはセルロース分解用無機質培地に少量の土を加え, ろ紙を $\frac{1}{2}$ ～半分浸漬した実験では, 両者の分解速度はほぼ等しかった(p. 93～94参照)。このことは, ハイポネックス水溶液はセルロース分解用無機質培地に代替できることを示している。この種の実験に使用するには, 特に詳細な培地組成を問題とする場合を除いてハイポネックス水溶液の方が簡便である。

セロハンは再生セルロースから製造されるが, 中学校で学習する範囲を越えており, 中学生

に木材との関係を理解させることは困難を伴う。セロハン紙では、土壤動物によるものと思われる食害跡を観察することが困難であった。植物遺体の分解は破碎者である土壤動物と分解者である土壤微生物の相互の働きによって進行するものである。それ故、樹幹・樹枝の分解をありのままに正確に体験させるためには、分解者、破碎者の活動跡を共に容易に確認できる素材が望まれる。この点からも材の分解の教材化に適するセルロース系の物質としてはセロハンよりも紙が優れているものと思われる。セロハン紙は供試材料の内でも最も分解が速かった。これはセロハン紙が非常に薄いこと、10~25%含まれているグリセリンなどの可塑剤(辻和, 1972)がセルロース分解菌の侵入・生育を容易にしたことなどによるものと思われる。また、セロハン紙は透明であり表面に生育した菌を透過光で検鏡することが可能であった。これらのことから考えセロハン紙はセルロース分解の補助教材としての利用が考えられる。

ろ紙は冬期に埋設したにもかかわらず2カ月間で肉眼で分解状況を容易に観察できるようになった(写真4)ので、本単元の時間内に十分納まる。一方、割箸は、埋設後1年目でも回収可能であったので、1年後に取りだせば崩壊の様子をみせるのに適した分解状態に達したものを得ることができる。

樹幹・樹枝はリグニンを多量に含むため葉に比し分解が遅い。このため落葉に比し樹幹・樹枝は植物遺体の分解の教材として取り上げられにくかったのであろう。しかし、野外観察をおこなえば葉の行方と共に樹幹・樹枝の行方についての疑問が湧いてくるのは当然といえよう。また、シイタケ、エノキタケ、ヒラタケなど食用キノコのほだ木栽培やおがくず栽培、キノコやカビの発生している立木や枯木、用材を食害するシロアリ、立木にみられる昆虫などによる穿孔跡など、意識するかしないかは別として、我々の身のまわりには樹木の分解と関係する生活体験が多々ある。このように樹幹・樹枝の分解を教材化することは身近な生活体験の理解を深めることにもつながると考えられる。

以上のことを踏まえて微生物による分解の単元を樹幹・樹枝の分解を柱として各種教材を展開し構造化することを試みた(図7)。室内実験の利点は実験条件の均質化が可能であること、対照実験の設定、実験の繰り返しが容易であることなどである。室内実験、特に *in vitro* の実験では精製品を使用して極端に単純化した系を使用することが多い。一方、野外実験、特に野外観察の利点は自然界での生物のありのままの姿や活動を理解させやすいことである。野外実験では天然の材料をそのまま利用することが多い。室内実験がミクロ化し、野外実験がマクロ化すればする程これらの傾向が強まる。見方を変えれば室内実験がミクロ化する程、定量的扱いの占める割合が増し、野外実験がマクロ化する程、定性的扱いの占める割合が増すこととなる。このように野外実験と室内実験は相補的なものであり、いずれが欠けても教材の適切な展開が困難となり、構造化は望めない。

学校の近くに森林があるならば、生徒と共に森林に行き、落葉・落枝の行方を考え、観察することができる。落葉・落枝を注意深くみれば、糸状菌の菌糸が肉眼でも観察される。キノコの仲間では基菌上で大きな子実体を作っていることもある。それゆえ糸状菌、特にキノコ(木材腐朽菌、落葉分解菌)は森林内での植物遺体の分解にたずさわる微生物を実感させるのに好適の素材といえよう。都市部の学校は自然に恵まれぬ所が多く、このようなA段階〔自然をそのまま観察・調査する〕(図7)の活動は困難な場合も考えられる。検討した埋設法は理科室内でも校庭の教材園や花壇の中でも可能である。落葉を人工的に堆積させれば分解を速めることも可能であり(図6)、材の分解を落葉の分解と絡めてより有機的に理解させることも期待される。また、ガラス容器中で、落葉・落枝などの植物遺体を培養すると、遺体上に菌糸あるいは菌糸束が肉眼で容易に観察されよう。自然に恵まれぬ学校ではこれらB段階〔天然物あるいはその

A段階（自然をそのまま観察・調査する）

- 落葉および枯幹・枯枝など植物遺体の観察（形，色，臭い，堅さ，重さなどの変化をみる）。
- 土壌断面の観察・調査（落葉・枯幹・枯枝などの分解構造をみる）。
- 落葉・枯幹・枯枝などに生息している糸状菌を肉眼やルーペで観察する。

B段階（天然物あるいはその粗加工品を使用し実験・観察する）

- 埋設法によって材の分解を観察・調査する（形，色，臭い，堅さ，重さなどの変化をみる）。
- 材の分解中に現われる糸状菌を肉眼やルーペで観察する。

C段階（基本骨格となるものについて実験・観察する）

- 各項目はB段階に同じ。

D段階（各素過程について実験・観察する）

○セルロースがセルラーゼにより分解されブドウ糖を生成することを定性・定量的に実験する。

○ブドウ糖が微生物によって分解されることを定性・定量的に実験する。

粗加工品を使用し実験・観察する〕（図7）をA段階の活動の代用として使えばよい。B段階の実験材料としては、C段階〔基本骨格となるものについて実験・観察する〕（図7）の実験材料と同時進行的に分解過程を追うことのできるものがよい。後述のような理由からC段階の実験材料としてろ紙を取り上げた。それゆえ、B段階の実験材料としてはろ紙と分解速度があまり変らぬバルサ角材が適していよう（図3）。また割箸はバルサ角材の補助あるいは代用実験材料としての利用が可能であろう。A段階の学習の後、樹幹・樹枝の分解に絞ってB段階に学習を進める。この際、葉、根、果実など植物の他の器官の分解は学習の骨組みから除外される。葉の分解のように教材化が進んでいる分野（遠藤，1980；鈴木・奥田，1980）があれば必要に応じて発展教材として取り上げるとよいだろう。B段階の学習の後、C段階に学習を進める際にはリグニン、ヘミセルロースなどセルロース以外の材の構成成分が学習の骨組みから除外される。セルロース以外の材の構成成分についてはいずれもそれぞれの対象分野の基礎研究そのものが立ち遅れており、到底、教材化など考えられない。C段階の実験材料には材とのかかわりを実感させやすく、分解速度（図3，4）が速いことから、ろ紙が適しているものと思われる。また、ろ紙はC段階やD段階に該当する実験が既にいくつか教材化され（田沼，1978；遠藤，1980；村杉，1980）、ある程度定着もしている。A段階からC段階へ学習が進行するに従い室内実験の占める割合が増加し、D段階では野外実験は困難となる。このため、B段階、C段階は野外での学習効果と室内での学習効果をつなぐ重要な接点となる。C段階からD段階への学習の進行に伴いセルロース分解に関与する土壌生物の存在が骨格から除外される。それ故、A段階と同様C段階およびD段階においても土壌生物の存在とその活動状況を実感させ、理解させておくことが必要不可欠となる。これは野外（屋外）および室内での埋設、浸漬実験の際、材やろ紙に生育している糸状菌菌糸と腐朽の進行状況の観察（写真3～9）、食害跡の観察によってある程度補えよう。ガラス器内に森林土壌を持ち込み、基物を埋設し、糸状菌、土壌動物を含めた形で材、ろ紙の分解を経時的に追跡する実験法を教材化することが今後必要と考えられる。発展学習として、滅菌土壌と無処理土壌で基物の分解状態を比較すること、および、土壌呼吸量の測定により土壌生物の存在に気づかせることなどが考えられる。前者については土壌滅菌が難しいため教材化が遅れているが、後者は教材化の試みも多く（田沼，1978；中学校理科学習指導資料，1979；中島，1979；小川邦生，1979；曾根原，1979；奥田，1980）、かなり定着した方法となっている。D段階の教材の材料も、B段階とC段階とのつながりを考えるとろ紙が望ましい。C段階からD段階へのつながりから土壌生物によるセルロース分解が菌体外酵素によるものであることを理解させることが可能であろう。糖が炭酸ガスと水に分解され有機物の無機化は完了するのであるから、D段階ではセルロースの分解生成物がブドウ糖であることに気づかせることが大切である。ブドウ糖の土壌微生物による分解については教材化が既におこなわれている（中学校理科学習指導資料，1979；鈴木・奥田，1980）。さらに、消化・吸収に関する単元との関わりからも、有機物の無機化に関する理解を深めることが可能と考えられる。ろ紙の分解に使用した酵素も *Trichoderma*（糸状菌）のセルラーゼである。以上、糖の生成に至るまでの段階の分解者としては糸状菌、分解基物としてはセルロースによって、それぞれ一本にライン化されているのでA～D段階間のフィードバックも容易と考えられる。B段階、C段階における発展学習としては基物からの菌の分離が考えられる。B段階のバルサ角材や割

箸の分解初期のものでは表面殺菌あるいは表面洗浄の後、菌を分離することも可能と考えられる。この操作をおこなわず菌を分離すると基物の分解菌とともに、単に基物表面に付着している散布体まで分離・培養する危険性がある(徳増, 1980)。土壤中に微生物が数多く生息していることを理解させるだけならば基物表面に付着している散布体から混入があってもよい。しかし、実際に基物の分解に関与している菌の存在を理解させようというのなら、注意せねばならぬ点である。以上のような流れで学習を進めることにより土壤微生物による分解を自然に理解させることが可能となろう。今回の実験で検討した教材は、土壤生物活動による分解産物、またはその経過に比重がかかっており、その裏に潜む土壤生物の活動については簡単な観察の域を出なかった。今後、土壤微生物の観察を主体にした教材開発が望まれる¹¹⁾。

注

- 1) 分解者をその栄養型が吸収に基づく微生物に限るか、その栄養型が摂取に基づく粉碎者(破砕者)をも含めたものとするかは議論の分れる所である。ここでは、両者を分解者として扱った。
- 2) 微生物とは微小で肉眼で観察できない生物のことである。糸状菌は一般に肉眼での観察が可能であるが、微生物として扱われることが多い。ここでも糸状菌を微生物として扱った。
- 3) K_2HPO_4 , 1.0 g; $NaNO_3$, 0.5 g; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.5 g; KCl , 0.5 g; $FeSO_4$, 0.01 g; H_2O , 1,000 ml (高井ら, 1977)。
- 4) ハイポネックスは市販の園芸用複合肥料である。成分は NH_4-N , 1.2%; NO_3-N , 5.8%; P_2O_5 , 6%; K_2O , 19%である。
- 5) 95~100°Cで乾燥すると、ろ紙、バルサ角材、割箸(広葉樹材)の順にすべて1時間以内で恒量に至った。
- 6) JIS規格による木材の耐朽試験方法(JIS Z 2119-1963)では $60 \pm 2^\circ C$ で乾燥後、乾燥重量を測定し、これをもとに重量減少率を求める。
- 7) ベネディクト反応は還元糖を検出するものであり、ブドウ糖を特異的に検出するものではない。
- 8) 尿糖試験紙はブドウ糖を特異的に検出するものであり、テス・テープ(塩野義製薬)、ダイアスティックス(三共製薬)などの商品名で市販されている。
- 9) 割箸にはスギ、ヒノキ、アカマツ、クロマツ、エゾマツ、トドマツなど針葉樹材のものもある(阪口, 1978a)。材の横断切片を検鏡すれば、針葉樹では仮道管、広葉樹では道管がみられるので、比較的容易に区別がつく(貴島ら, 1977)。
- 10) 針葉樹では主に仮道管、広葉樹では主に木繊維がこれにあたる。
- 11) 土壤微生物の観察を教材化したものとしては高井ら(1977)、曽根原(1979)、奥田(1980)、山極(1980)などがあるが、この分野の研究は立ち遅れている。

摘 要

無機培地中および土壤中においては、セロハン紙、ろ紙、バルサ角材、割箸(広葉樹材)の順に崩壊した。裸地に落葉を積み上げて作った人工の落葉層は、天然のA層とほぼ同等の分解活性を示した。分解が進行するにつれ、いずれの供試品上にも糸状菌の増殖が認められた。土壤中に埋設したろ紙、バルサ角材、割箸では土壤動物による食害跡と思われるくぼみや穴が観察された。ろ紙、バルサ角材、割箸では重量減少率を指標とすると、分解の経過をある程度定量的に追跡できることが判明した。セルラーゼ液中でろ紙片を反応させると約30分後にブドウ糖の生成が認められた。これらの教材を系統的に組み合わせ、微生物による分解に関する教材を樹幹・樹枝の分解を柱として展覧し、構造化した。

謝 辞

本稿を草するにあたり、実習園の使用を御許可いただき、種々御助言を賜った畠山忠史氏・山井広氏(千葉県教育センター)、貴重な御助言をお寄せくださった小川真博士(林業試験場土壌微生物研究室)、松岡昭四郎氏(林業試験場防菌研究室)、大釜敏正博士・貫井正納氏(千葉大学教育学部)、根本和成氏(東京学芸大学附属高等学校)に厚くお礼申し上げる。また、菌の同定に御協力くださった堀江義一氏(千葉大学生物活性研究所)、演習林の使用を御許可くださった金光桂二博士(東京大学農学部)に深甚なる感謝の意を表する。

引 用 文 献

- 雨宮昭二. 1963. 浅川実験林苗畑の杭試験(1) 杭の被害度を評価する方法. 林試研報 No.150: 143-156.
- 青木淳一. 1973. 土壌動物学. 北隆館, 東京. 814 p.
- Cunningham, J. D., R. Gardner, and C. J. Troost. 1975. Soil — Clean and Dirty —. pp. 316-337. M. A. P. S. (teacher's ed.) Level 1. Houghton Mifflin, Boston.
- 遠藤正喜. 1980. 「分解者」としての微生物教材に関する研究 —観察・実験の視点—. 大分県教育センター紀要 No.11: 183-196.
- Hudson, H. J. 1980. Fungal Saprophytism (Studies in Biology No.32), 2nd ed. Edward Arnold, London. 76 p.
- 貴島恒夫・岡本省吾・林昭三. 1977. 原色木材大図鑑 (改訂版). 保育社, 大阪. 204 p.
- 北御門敬之・外山信男. 1962. (1)濾紙崩壊度によるセルロース測定法. 醸工 40: 85-88.
- 松岡昭四郎・雨宮昭二・庄司要作・井上衛・阿部寛・内藤三夫. 1970. 浅川実験林苗畑の杭試験(3) 各樹種の野外試験による耐朽性調査結果. 林試研報 No.232: 109-135.
- 文部省. 1978. 中学校学習指導要領 第2章 第4節 理科. pp.152-167. 中学校指導書 理科編. 大日本図書, 東京.
- 村杉幸子. 1980. 土壌微生物によるセルロースの分解 —物質循環の一環として—. 生物教育担当教員の養成と再教育に関する調査と開発研究, (文部省科学研究, 一般研究A). 教材モジュール No.12. 国立教育研究所, 東京. 12 p.
- 武藤覚. 1974. ろ紙. グランド現代百科事典 20: 451. 学研, 東京.
- 中島武夫. 1979. 分解者としての土壌微生物とそのはたらき. 栃木県教育研修センター内地留学生研究集録. pp. 57-60.
- 中村方子・桜井信夫・千羽晋示. 1966. 森林における落葉の消失と土壌無せき稚動物について. 自然教育園の生物群集に関する調査報告 No.1: 99-118.
- 小川邦生. 1979. 土壌微生物実験上の二, 三の工夫 —滅菌法と呼吸作用の検証実験について—. 理科教育研究 18: 131-132.
- 小川真・浅野真知子・山家義人. 1978. 土地利用と微生物相. 森林立地 19(2): 10-21.
- . 1980. 菌を通して森をみる. 創文, 東京. 279 p.
- 岡山県教育センター編. 1979. 生物界における生産・消費・分解に関する研究. 中学校理科学習指導資料. 47 p.
- 奥田進. 1980. 生物界における分解者の指導について —土壌微生物の扱い方—. 栃木県教育センター研究紀要 No.9: 23-28.
- 斉藤紀・相馬潔. 1980. 土壌生態系における微生物の役割. 遺伝 34(2): 50-57.
- 阪口宏司. 1978a. 割著今昔(1) —起源と変遷—. 木材工業 33: 349-352.
- . 1978b. 割著今昔(2) 完 —材料と工法—. 木材工業 33: 399-402.

- 曽根原方教. 1979. 中学校における新教材「土壌生物」の実験・観察法について. 長野県教育センター研究報告 No.16: 21-32.
- 鈴木功一・奥田進. 1980. 教材・教具の開発・整備と指導法に関する研究(中学校理科) 一生物界における分解者の指導一. 栃木県教育研修センター研究紀要 No.9: 54-75.
- 高井高盛・駒形和男・新井英夫・山極隆・村杉幸子. 1977. 微生物教材化研究会編, 微生物による生物実験. 三省堂, 東京. 174 p.
- 田沼浩三. 1978. 中学校における土壌生物の観察と実験法の検討. 秋田教育センター研究紀要 No.9: 105-112.
- 徳増征二. 1978. 落葉分解と微小菌類の遷移. 遺伝 32(11): 45-50.
- . 1980. アカマツの落葉分解に関与する菌類の観察. pp.129-144. 微生物生態研究会編, 微生物の生態 7 (技術論をめぐって〈識別〉), 学会出版センター, 東京.
- 辻和一郎. 1972. セロハン. グランド現代百科事典 12: 244. 学研, 東京.
- 宇田川俊一・古谷航平. 1979. 糞生菌類の世界 一動物の糞に生える菌類一. 遺伝 33(10): 76-83.
- 渡辺弘之. 1978. 土壌動物の世界. 東海大出版, 東京. 192 p.
- 山極隆. 1980. 土中の微生物 一地球上の大掃除屋さん一. 生物教育担当教員の養成と再教育に関する調査と開発研究(文部省科学研究, 一般研究A). 自然観察モジュールNo.2. 国立教育研究所, 東京. 16 p.