

調査活動 ③落葉堆肥化実験

私たちが日常生活で目の当たりにする大きな環境問題の一つが、「ごみ問題」である。一般家庭や小規模事業所から毎日のように出てくるごみ（「一般廃棄物」）は、市町村が「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」（通称「廃棄物処理法」）に基づいて適切に処理している。しかし、その対策は各自治体においてまちまちであり、それぞれの条例に基づいて分別・処理がなされている。また、一般廃棄物は「紙類」、「厨芥類（生ごみ）」、「プラスチック類」などに分類されているが、その中の「厨芥類」が占める割合は、日本では一般廃棄物全体のほぼ3分の1にあたる。

バイオマスの一つである生ごみの90%以上は水分といわれている（農文協, 1999）。極端に高い燃焼温度で焼却すると焼却炉を傷め、寿命を縮めてしまう。反対に低温で焼却すると、混入物によってはダイオキシンを発生させる原因にもなる。そこで、政府は2002年12月に「廃棄物処理法」を改正し、「厨芥類」を焼却するさいには800°C以上で燃焼するよう義務づけた。

いずれにおいても、生ごみを減らすことは、ごみの減量化、焼却に伴う二酸化炭素（CO₂）の排出削減、焼却炉の寿命延長、エコ意識の向上などに寄与する。また、生ごみを堆肥化すれば、土づくり、有機野菜づくりにも貢献する。さらに、これまで焼却されていた街路樹の落葉も堆肥化すれば、地域で発生する有機物を焼却することなく、バイオマスの「地産地消」としてもおおいに期待できる。

一般に、肥料は「化学肥料」と「有機肥料」の二つに分けられる。前者は、窒素、リン酸、カリウムの3大要素を含むもののうち2種類以上を含む速効性があるもので、化成肥料ともいう。後者は、魚介類や植物油のカス、家畜・家禽の糞尿など有機質に富んだものをいうが、前者に比べると肥料効果は遅効性である（藤原, 2003）。一方、「堆肥」は「有機肥料」とも異なり、有機物のほとんどが堆肥のできる過程で微生物によって分解され、残った有機物もさらにゆっくりと分解されるため、肥料効果は「有機肥料」よりもさらに遅効性をもっている。むしろ、「堆肥」は作物が育つ土壌環境を改善する役割、すなわち“土壌改良効果”としての役割を担っている（藤原, 2003）。

また、堆肥化には、第一次発酵と第二次発酵の二つの段階がある。第一次発酵とは「生ごみ堆肥」とも呼ばれ、生ごみに含まれる糖やタンパク質を好気性細菌によって分解・熟成させるまでの段階をいう。そのさい多くの未分解有機物は残存するが、微生物の急増に伴う呼吸熱によって堆肥は発熱する。換言すれば、発熱した状態は微生物が活発に活動している状態であり、有機物の分解が進んでいる証拠でもある。また、第二次発酵とは第一次発酵が終了した堆肥をさらに1ヶ月以上かけて熟成させ、より安定化させたものをいう（農文協, 1999）。

本研究は、生ごみと落葉などのバイオマスを堆肥化するため、第一次発酵の完了まで、または熟成までのパターンと期間を推定することのほか、熟成後の成分組成を明らかにすることを目的に実験を行った。なお、車載型バイオマス資源処理装置を使ったこの実験は、今まで行われたことはなく、初めての試みである

本研究では、落葉（主にイチョウ葉）回収のさい、私立天理高校3年生の生徒及び教職員、天理市ごみ問題市民円卓会議の委員、並びに環境市民ネットワーク天理の会員の皆さまにさまざまな面でのご協力をいただいた。また、堆肥化実験では循環資源利用健康推進事業合同会社の敷地をお借りして行った。ここで改めて、協力者および関係者の皆さまに深甚なる謝意を表する次第である。

本稿は、2011年、山本一・川波太・佐藤孝則が「バイオマスの有効活用 -生ごみと落葉を用いた堆肥化実験-」と題して掲載された論文（『天理大学おやさと研究所年報』第17号：77～95頁）を転載したものである。なお、この論文著者3名のうち、山本は循環資源利用健康推進事業合同会社、川波は天理高校、佐藤は天理大学おやさと研究所に所属し、3名ともNPO法人 環境市民ネットワーク天理の役員である。

(1) 実験方法

1) イチョウ落葉の回収

堆肥化実験は、第1回目が2006（平成18）年12月2日から2007（平成19）年1月30日まで、第2回目が2007（平成19）年12月1日から2008（平成20）年1月29日まで、第3回目が2008（平成20）年12月6日から2008

(平成 20) 年 2 月 6 日までの期間に行った。3 回ともそれぞれ 60 日間の実験期間だった。

とくに第 1 回目に使用したイチョウの落葉は、2006 年 12 月 2 日の数日前に、天理高校の生徒が掻き集め、袋詰めしていたものを活用し、実験に供した (写真 1、2)。



写真 1. イチョウの落葉を集めた天理高校生。 写真 2. 袋詰めされたイチョウの落葉。 写真 3. 車載型食循環資源処理装置へ投入される落葉。

2) 堆肥化方法

収拾したイチョウの落葉は車載型食循環資源処理装置の中に投入した (写真 3、4)。

第 1 回目は、食品循環資源量 (生ごみ、内魚率 36%) 471kg、水分調整材としてのモミ殻 304kg の中にイチョウ落葉 148kg を混入して実験を行った。イチョウ落葉は水分が多くなかなか堆肥になりにくいと判断して水分率を 60~70% と想定し、モミ殻 100kg を追加投入したが、その後水分率を調整して 49.2% とした。

第 2 回目は食品循環資源量 (生ごみ、内魚率 21.3%) 765kg、モミ殻 340kg、一部カエデ葉を含むイチョウ落葉 150kg (総量 1,255kg) で実験を行った。水分率を 48.5% とした。

第 3 回目は食品循環資源量 (生ごみ、内魚率 32%) 828kg、モミ殻 323kg、剪定枝粉碎 70kg、イチョウ落葉 150kg (総重量 1,335kg) で実験を行った。そのさい水分率を 52% とした。

有機物の発酵・脱臭処理にあたっては、愛媛県産業技術研究所 (旧・愛媛工業技術センター) が開発・商品登録した「えひめ A I - 1」を用いた。これは、乳酸菌や納豆菌、酵母菌をベースにした細菌群である。



写真 4. 食循環資源処理装置に見入る天高生。

写真 5. 落葉を実験容器に移し替える。

写真 6. 移し替えたばかりの生ごみと落葉。

車載型食循環資源処理装置に投入された堆肥化試料は (写真 4)、車内のゆっくり回転するドラムの中で数時間攪拌され、堆肥化実験地の循環資源利用健康推進事業合同会社 (奈良県橿原市内) の敷地に置かれた実験容器に移された (写真 5、6)。

第 1 回目の実験では写真 7 に示す網の容器を使用した。第 2 回目ではさらに網目が小さく害虫の発生を抑制する容器 (写真 8) に切り替えた。容器を切り替えたのは、含水期間が長く、完熟化が少し早く進むと想定したからである。実験には、第 1 回目と 2 回目は四つの容器を、第 3 回目は二つの容器を使用した。

発酵・分解の経緯を容器内の温度で推し計るため、容器内と外気の温度を計測した。温度は原則午前 9 時ころに計ったが、実験初日は夕方 5 時ころにおこなった。

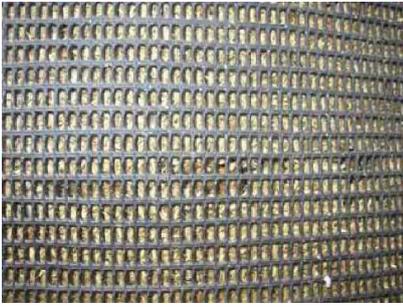


写真7. 第1回目の実験で使用した容器。 写真8. 第2、3回目の実験で使用した容器。 写真9. 第1回目実験で使用した屋内用容器。

第1回目と2回目で使用した四つの容器のうち、屋内と屋外にそれぞれ二つを設置し（写真9、10）、第3回目では二つの容器を屋内に設置して実験を行った。そのさい、容器上部をネットで被った。

3) 堆肥の成分分析

堆肥の熟成期がほぼ完了した時期に堆肥の一部を採取し、奈良県農業総合センターに持ち込んで成分分析を行った。分析に供した試料は、第1回目（2007年1月）と第2回目（2008年1月）の実験で得たものである。

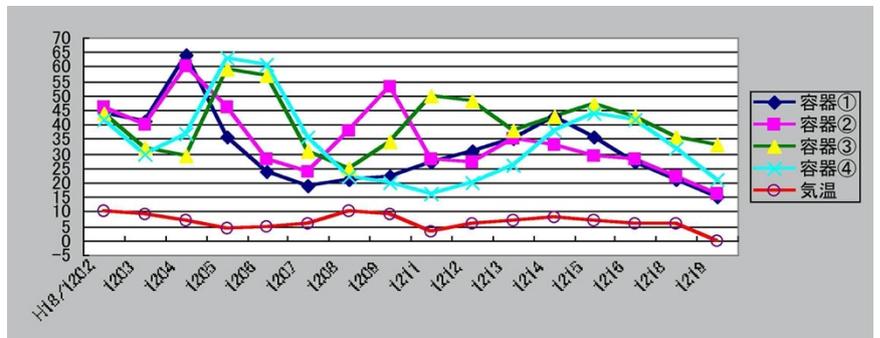


写真10. 第2回実験で使用した屋外用容器。 図1. 容器（①～④）内と外気の温度の変化（2006年12月2日～19日まで）。

(2) 実験結果

1) 第1回目の実験

堆肥化実験に使った四つの容器のうち、屋外に設置した二つの容器をそれぞれ①、②とし、屋内に設置した容器を③、④とした。以下に、それぞれの容器内有機物が堆肥化の過程でどのように変化したかを写真で示す。またその時の容器内温度と外気温を示す（図1、2）。

車載型食循環資源処理装置のドラム内の試料温度は28.6°Cで、容器内へ排出した時(16時45分)の試料温度は34.0°C、外気温は10°Cだった。

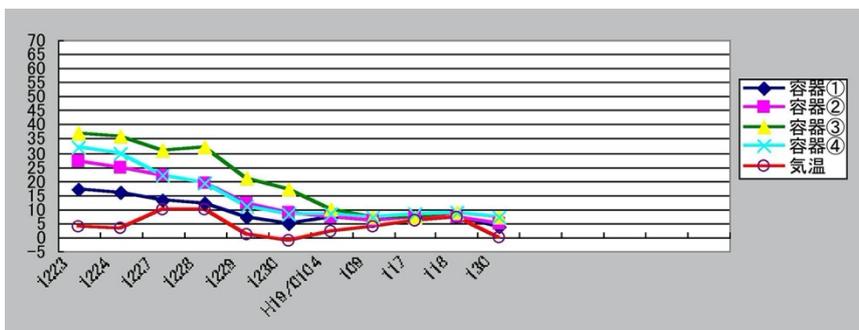


図2. 容器（①～④）内と外気の温度の変化（2006年12月23日～翌年1月30日まで）。 写真11. 実験に供された屋内容器。

1)-1. 2006年12月2日（開始日）

測定時刻：17時45分。天候：曇。外気温：10℃。容器内温度：①44℃、②46℃、③44℃、④42℃。

車載型食循環資源処理装置から容器内に排出された試料（写真5、6）は、イチョウ落葉を投入する前の予備実験時とは異なるハーブの香りと甘い匂いを醸し出していた（写真11、12）。



写真12. 実験開始日の容器内の様子。 写真13. 開始8日目の容器①の様子。 写真14. 容器①の表面下10cmの様子。

1)-2. 2006年12月4日（開始3日目）

測定時刻：8時50分。天候：晴。外気温：7℃。容器内温度：①64℃、②60℃、③29℃、④37℃。

1)-3. 2006年12月5日（開始4日目）

測定時刻：9時10分。天候：晴。外気温：4℃。容器内温度：①36℃、②46℃、③59℃、④63℃。

1)-4. 2006年12月6日（開始5日目）

測定時刻：9時10分。天候：晴。外気温：5℃。容器内温度：①24℃、②28℃、③57℃、④61℃。

1)-5. 2006年12月9日（開始8日目）

測定時刻：9時05分。天候：雨。外気温：9℃。容器内温度：①22℃、②53℃、③34℃、④20℃。

容器①に40℃のお湯4リットルを加水。エアーレーションの穴を開けて中にも浸透するよう、万遍なく加水した。四つの容器（写真13-20）とも表面から10cm下の内部を見ると、菌糸を伸ばし胞子を形成したような白い菌が広がっていた。また、屋外の容器②内の試料表面（写真15）と屋内の容器③内の試料表面（写真17）に散在するイチョウ葉は、当初は黄色だったが、この段階では再び緑色を呈した。



写真15. 開始8日目の容器②の様子。 写真16. 容器②の表面下10cmの様子。 写真17. 開始8日目の容器③の様子。



写真18. 容器③の表面下10cmの様子。 写真19. 開始8日目の容器④の様子。 写真20. 容器④の表面下10cmの様子。

1)-6. 2006年12月22日(開始21日目)

測定時刻:12時45分。天候:曇。外気温:12°C。容器内温度:①23°C、②31°C、③37°C、④35°C。

この段階になると、屋外と屋内の熟成に差がでてきた。屋内の容器③(写真25、26)と容器④(写真27、28)の方が、屋外の容器①(写真21、22)と②(写真23、24)よりも分解が進んでおり、白い菌による熟成が進んでいた。また、屋外の容器①(写真22)と容器②(写真24)の試料間においても差が認められ、容器②の試料の方が容器①よりも熟成が進んでいた。



写真21. 開始21日目の容器①のようす。



写真22. 容器①の表面下10cmのようす。



写真23. 開始21日目の容器②のようす。



写真24. 容器②の表面下10cmのようす。



写真25. 開始21日目の容器③のようす。



写真26. 容器③の表面下10cmのようす。



写真27. 開始21日目の容器④のようす。



写真28. 容器④の表面の熟成のようす。

1)-7. 2006年12月29日(開始28日目)

測定時刻:8時55分。天候:晴。外気温:1°C。容器内温度:①7°C、②12°C、③21°C、④11°C。

1)-8. 2007年1月4日(開始34日目)

測定時刻:9時00分。天候:晴。外気温:2°C。容器内温度:①7°C、②7°C、③10°C、④8°C。

1)-9. 2007年1月9日(開始39日目)

測定時刻:9時00分。天候:晴。外気温:4°C。容器内温度:①6°C、②6°C、③7°C、④7°C。

1)-10. 2007年1月18日(開始48日目)

測定時刻:9時00分。天候:晴。外気温:4°C。容器内温度:①7°C、②7°C、③9°C、④9°C。

1)-11. 2007年1月30日(開始60日目)

測定時刻:9時15分。天候:晴。外気温:0°C。容器内温度:①4°C、②5°C、③7°C、④7°C。

2) 第2回目の実験

第1回目の実験と同様、イチョウ落葉の堆肥化実験として、四つの容器(写真8)を用いた。その内の二つ(容器⑤、⑥)は屋外に設置し、残りの二つ(容器⑦、⑧)は屋内に設置した。以下に、それぞれの容器内有機物が堆肥化の過程でどのように変化したかを写真で示す。またその時の容器内温度と外気温を示す(図3、4)。

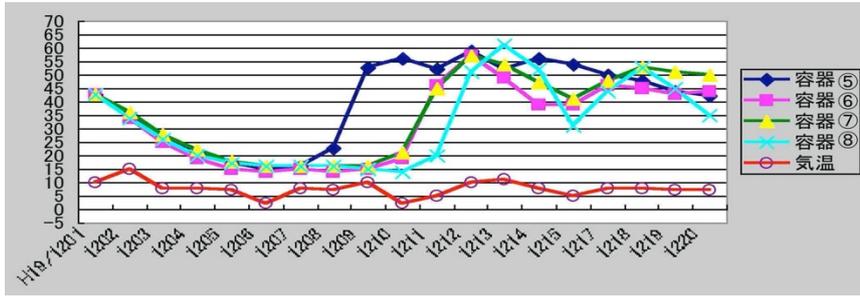


図3. 容器(⑤~⑧)内と外気の温度の変化(2007年12月1日から20日まで)。



写真29. 実験に供された開始初日の屋内容器。

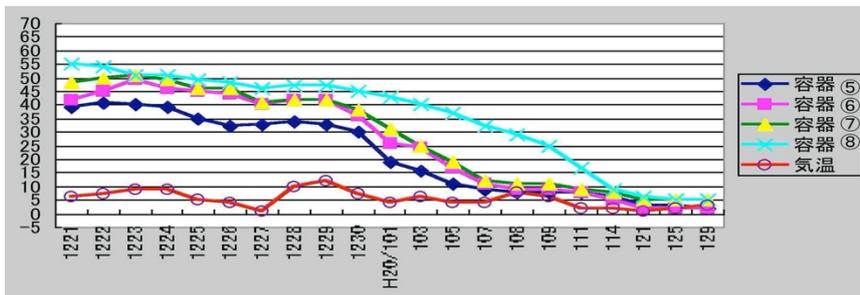


図4. 容器(⑤~⑧)内と外気の温度の変化(2007年12月21日から翌年1月29日まで)。



写真30. 開始5日目の屋外容器⑤のようす。

2)-1. 2007年12月1日(開始日)

測定時刻: 17時10分。天候: 小雨。外気温: 11°C。容器内温度: ①44°C、②44°C、③44°C、④44°C。

第1回目の時と同様、屋内外の試料とも(写真29)、通常のアミノ臭とは異なるハーブの香りと甘い匂いを醸し出していた。

2)-2. 2007年12月5日(開始5日目)

測定時刻: 9時21分。天候: 晴。外気温: 7°C。容器内温度: ①17°C、②15°C、③18°C、④17°C。

第1回目の時と同様、アミノ臭はあるものの、ハーブの香りも試料から醸し出されていた(図34)。水分率は51%だが、嵩比重は大きいと考えられた。

2)-3. 2007年12月17日(開始17日目)

測定時刻: 8時51分。天候: 晴。外気温: 8°C。容器内温度: ①50°C、②46°C、③48°C、④44°C。

第1回目の時と同様に、イチョウ葉は、当初は黄色だったが、この段階では再び緑色を呈した(写真31)。また、四つの容器とも表面から10cm下の内部を見ると、菌糸を伸ばし胞子を形成したような白い菌が広がっていた(写真31、32)。この時点で、刺激臭はほとんどなくなっていた。



写真31. 開始17日目の容器⑥の表面下10cm。

写真32. 開始17日目容器⑧の表面下10cm。

写真33. 開始29日目の容器⑤のようす。

2)-4. 2007年12月29日（開始29日目）

測定時刻：9時02分。天候：曇。外気温：12℃。容器内温度：⑤33℃、⑥42℃、⑦42℃、⑧47℃。

容器の⑥（写真34）と⑦（写真35）は似たような熟成状況だった。容器⑦、⑧（写真36）では中央の通気円筒から水蒸気の発生が見られたが、容器⑤（写真33）、⑥では視認できなかった。



写真34. 開始29日目の容器⑥のようす。 写真35. 開始29日目の容器⑦のようす。 写真36. 開始29日目の容器⑧のようす。

2)-5. 2008年1月14日（開始45日目）

測定時刻：9時02分。天候：曇。外気温：2℃。容器内温度：⑤6℃、⑥5℃、⑦8℃、⑧9℃。

2)-6. 2008年1月21日（開始52日目）

測定時刻：8時42分。天候：曇。外気温：1℃。容器内温度：⑤3℃、⑥2℃、⑦5℃、⑧6℃。

3) 第3回目の実験

イチヨウの落葉と剪定枝粉碎チップを混在させた堆肥化実験を、二つの容器（写真8）を用いて行った。容器（⑨、⑩）は屋内に設置した。以下に、それぞれの容器内有機物が堆肥化の過程でどのように変化したかを写真で示す。またその時の容器内温度と外気温を示す（図5、6）。

車載型食循環資源処理装置のドラム内から容器内へ排出した時の試料温度は、39℃だったが、日を追うごとに下がり、12月9日（4日目）から24日（19日目）まで、二つの容器内の試料は、ともに同じような発酵パターンを示した。しかし、20日目以降は二つの試料とも別々のパターンを示した。

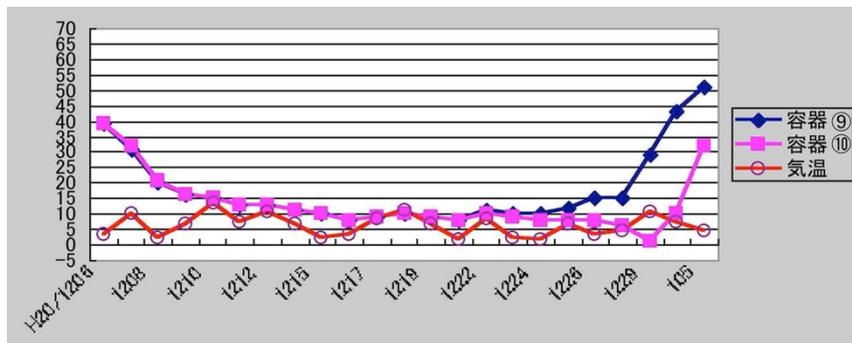


図5. 容器（⑨、⑩）内と外気の温度の変化（2007年12月6日～2008年1月5日まで）。

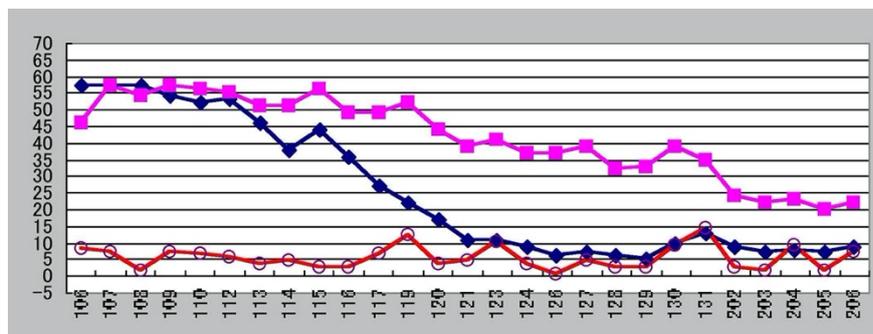


図6. 容器（⑨、⑩）内と外気の温度の変化（2008年1月6日～2008年2月6日まで）。

3)-1. 2008年12月6日(開始日)

測定時刻:17時05分。天候:晴。外気温:4°C。容器内温度:⑨39°C、⑩39°C。

3)-2. 2009年1月16日(開始42日目)

測定時刻:9時00分。天候:晴。外気温:3°C。容器内温度:⑨36°C、⑩49°C。

堆肥化を始めて42日経っても、写真37、38に示したように、発酵は完了していなかった。



写真37.開始42日目の容器⑨のようす。



写真38.開始42日目の容器⑩のようす。

4) 堆肥の成分分析結果

第1回目の堆肥試料は2007年1月18日(実験48日目)に採取した。この試料はイチョウ落葉148kg、モミ殻304kg、食品循環資源471kg(魚率36%)の計923kgを堆肥化実験して得られたもので、全窒素(%)1.53、全リン酸(%)0.63、全カリ(%)1.25、炭素率(C/N比)18.65、水分(%)23.27という結果だった。

第2回目の堆肥試料は2008年1月29日(実験60日目)に採取した。この試料はイチョウ落葉150kg、モミ殻340kg、食品循環資源765kg(魚率21.3%)の計1,225kgを堆肥化実験して得られたもので、全窒素(%)1.56、全リン酸(%)0.60、全カリ(%)1.01、炭素率(C/N比)19.00、水分(%)23.36という結果だった。

(3) 考察と評価

1) 堆肥化実験の意義

生ごみのなかには肥料成分が多く含まれている。しかしそのまま畑に戻すと農作物の生育に障害がおきることがある。この原因を微生物のはたらきで取り除くのが堆肥化であり、その基本は好気性菌による好気発酵(分解)である(農文協,1999)。広義の意味で考えると、生ごみの堆肥化は畑の土の有機土壌化であり、土づくりの基本でもある。また、バイオマスを有効に利活用することはごみの減量化、二酸化炭素の排出抑制、エコ意識の向上など環境教育の啓発を促すことにもなる。また、生ごみを堆肥化すれば、土づくり、有機野菜づくりにも貢献する。天理市はイチョウを「天理市の木」として指定している。しかし晩秋に風に舞って落ちるイチョウの葉を焼却することなく生ごみ同様に堆肥化すれば、バイオマスの「地産地消」としてもおおいに期待できる。地球温暖化問題の解決策として重要なバイオマスの有効利用と堆肥化は今日的課題であり、社会への波及効果はきわめて大きく、意義は深い。

たとえば、生ごみの堆肥化が家庭菜園や市民農園で実践され、静かなブームとなっている。これも波及効果の一つである。NPO法人みどりの市民が「段ボール堆肥」を普及したり(細井,2006)、また一人の主婦が、簡単にできる『『カドタ式』土のう袋堆肥』を開発・考案し、土のう、落葉、米ぬか、土、水を使って発酵させた「落葉堆肥」づくりを、ノウハウ本をとおして愛好者に広めている(門田,2006)。さらに、家庭だけでなく、学校給食の食べ残しや大規模小売店での生鮮食品の残さなど、地域社会から排出される生ごみの堆肥化の取り組みの契機ともなっている(有機農産物普及・堆肥化推進協会,1999)。

本研究で行った堆肥化実験は、これまでとは異なる方法で行った。一つは「車載型バイオマス資源処理装置」を使ったことである。石川県加賀市でこの車両を使った生ごみの堆肥化は既に行われているが、ここでは堆肥化事業として実用を優先しているため、詳細な研究記録は明らかにされていない。それまでの生ごみ堆肥は成分がまちまちで安定し

ておらず、目的に応じた農業への利用ははかられていない。そのため、完熟した生ごみ堆肥を、たとえば畑向けか果樹向けかという用途に応じた施肥ができない状況にある。それが、家庭菜園や市民農園止まりとなり、農業への利用拡大が進まない現実となっている。そこで今回の実験では、あらかじめ成分を明らかにした生ごみとイチョウ落葉、もみ殻の割合を明確にして行った。そのさい、バイオマス試料をドラム内で数時間回転させながら初期発酵させ、それを円筒容器（写真7、8）に入れて熟成させた。

二つ目は、落葉と生ごみを混合したものを堆肥化したことである。今回用いた落葉は枯葉までには至っていないが、枯葉同様、落葉や混入したもみ殻にも微生物はたくさん存在し、堆肥化に貢献する糸状菌や放線菌などの微生物がそれらにはたくさん付着していたはずである。枯葉と生ごみを等量使って堆肥化すると、枯葉そのものの炭素率が高い分、発酵過程でアンモニア臭を抑制する効果が高いという（農文協, 1999）。

平成16年度における、わが国の一般廃棄物の堆肥化処理量は湿重ベースでわずか6.7万トンであり、1人1日当たりの厨芥+草木ごみの発生量を400gとすれば、1,870万トンの発生量のうちわずか0.4%に過ぎないという（浮田, 2007）。これは、2004年（平成16年）の段階でも国内の一般廃棄物のうち生ごみの堆肥化処理量がたった0.4%に過ぎなかったこと、すなわち一般廃棄物のうちの一部事業系の生ごみと一般家庭由来の生ごみはほとんど堆肥化されていなかったことを意味している。

ところが、2000年（平成12年）に食品循環資源の再生利用等を目的として制定された「食品リサイクル法」は、その中心的な役割を担っている食品関連事業者に焦点を当てて食品の循環システムを促した。食品の製造から消費、そして廃棄に至る食料資源の循環システムを効果的にするために、食品廃棄物の発生抑制とともに再生利用を事業者に促したのである。その結果、食品産業全体で見ると、平成19年（2007年）度に排出された食品廃棄物等の再生利用率は60%だった（農林水産省統計部, 2009）。そのうち、「肥料化」は37%、「飼料化」は35%で、食品循環資源として再利用されたものの中で「肥料化」の割合が最も高かった。これは食品産業全体での場合で、一般家庭で堆肥化率がそれに応じて向上したとは考えにくい。個人的に生ごみ処理をしている家庭はあるが、乾燥させて「燃えるごみ」として排出したり、堆肥化されても家庭菜園では有り余るためにそのまま排出している可能性もある。

既述したように、一般家庭から排出される生ごみは成分がまちまちであるため、農業用堆肥として再利用できない場合が多い。しかも、個別の堆肥化には限界がある。そこで今回の実験は、各家庭から排出される生ごみを「車載型バイオマス資源処理装置」で回収し、落葉ともみ殻を混ぜながら数時間ドラム内で生ごみ試料をゆっくり回転させて初期発酵させる方法を用いた。

この方法は、家庭から排出される生ごみの再生利用率、とりわけ「肥料化」率を向上させるための堆肥化実験として意義があり、今後につながる研究でもある。

2) 発酵に及ぼす水分調整

従来、イチョウは熟成(発酵)を阻害する成分が多いと考えられてきたことから、肥料には適さないとされてきた。そのため、第1回目の最初の実験では通常の堆肥化工程よりも水分調整などの処理に時間をかけ、熟成状況をみながら実験を進めた。その結果、屋外に置き水分調整した容器①の試料は、調整しなかった容器②の試料と同じようなパターンで発酵(分解)が進んだ。最終的に水分率を42.5%としたことによって水分調整がうまくいったと考えられる。

第2回目は、実験容器を害虫発生抑制に考慮したものに変更して実験を行った。第1回目で使用した容器(図7)より網目が小さい2回目の容器(写真8)は、事前実験で夏期(2007年6月)の害虫発生抑制に大きな効果があったことから、冬期でも効果があるかどうかを確かめるための実験でもあった。結果的に見ると、理想的なカーブ(図3、4)を描いて発酵が完了した。これはカビやバクテリアの繁殖に適した水分率であったと考えられる。水分率は48.5%で、第1回目よりもより適した水分率だったと考える。

第3回目は、イチョウ葉の熟成を阻害すると考えられる剪定枝粉碎チップを混在させ、熟成の変化を確かめた。とりわけ、熟成を阻害するリグニン成分を念頭に置いた実験だった。今回の実験では、第1回目と2回目では堆肥化開始の

40 日目にはほぼ試料は発酵が完了したが、3 回目は二つの容器のうち一つの容器⑩は 49 日目（2009 年 1 月 23 日）にほぼ発酵を完了させた。もう一つの容器⑨では試料は発酵を完了させていなかった。60 日目経っても完了していなかった。水分率は 52.0 %だったが、発酵完了を遅らせた原因は、剪定枝粉碎を試料に加えたことにあると考える。

以上より、生ごみ、もみ殻、イチョウ落葉で堆肥化を図るさいには水分率が 48.5–49.2%であれば概ね堆肥化が可能であると判断される。しかし、それらに加えて剪定枝粉碎が加わることによって熟成までに 50 日以上を要することが明らかになった。

水分含量が少ないと微生物が増殖できず好気発酵が不十分になり、逆に多いと酸素供給不足から嫌気状態になることから、一般に堆肥化に適した水分率は 50–60%だと考えられている（藤原, 2003）。今回はイチョウ落葉を堆肥化実験に供した。イチョウにはほかの樹種よりも含水率が高いこと、また第 1 回目の編み目の粗い容器でも加水調整して成功したことから、むしろ水分率は本実験で用いた 48.5–49.2%の範囲のように 50%以下でも十分に堆肥化できることを証明した。

3) 有機物を分解する微生物

自然界には多くの微生物が存在する。落葉や米ぬかを堆肥の積み込み時に混合すると効果的で、落葉の表面には糸状菌や放線菌、担子菌の胞子などがたくさん繁殖し（藤原, 2003）、これらの微生物が有機物の堆肥化に貢献することは周知の事実である。

農文協（1999）によると、堆肥化に貢献する微生物は糸状菌（カビの 1 種）で、生ごみなどに含まれる糖類やアミノ酸をほかの微生物に先駆けて食べ尽くし大増殖する。そのさいに呼吸熱を出して内部温度を徐々に高める。しかし内部温度が 40°C以上まで上昇すると、糸状菌は次第に減少し、それに変わって高い温度に耐えられる放線菌が次第に増殖を始めるという。

第 1 回目の実験では、車載型食循環資源処理装置のドラム内の試料温度は 28.6°C、堆肥化のために容器へ排出した（移し替えた）段階で 34.0°Cだった。この段階までであれば、堆肥化促進微生物の先駆け（スターター）としての糸状菌は生存し、発酵に貢献していたと考えられる。

しかし、その 1 時間後の実験開始時刻になると、試料内温度は容器①と③は 44°C、②は 46°C、④は 42°Cと 4 容器とも約 10°C上昇した（図 1）。堆肥化でまず最初に活躍するのは糸状菌であり（農文協, 1999）、内部温度が 40°C以上になると糸状菌は死滅するのであれば、今回の実験では、堆肥化のスタートの段階はほとんどの糸状菌が死滅していた可能性が高い。それは、開始 3 日目の屋外容器の試料内温度が①64°C、②60°Cに、開始 4 日目には屋内容器が③59°C、④63°Cとなり、60°C前後にまで急上昇したからである。この実験では、40°C以上になると生活できなくなる糸状菌に代わって高い温度に強い放線菌などが増殖した（農文協, 1999）と考えた方が妥当だと考える。

農文協（1999）によると、「スターター」の役割を担う糸状菌に代わって登場した「デッドヒート期」の立役者・放線菌は、糸状菌が食べられなかった繊維質（セルロースやヘミセルロース）を分解する役割を担い、堆肥化段階での 60°C以上の高温期に活躍する。そして食べるエサが少なくなると放線菌の活動は低下し、それに伴って温度が下がり始めると、放線菌が食べられなかったより硬い繊維質を食べるさまざまなバクテリアが「アンカー」として登場するという。さらに長期間そのままにすると、リグニンがキノコ類によって分解され、ミミズなどさまざまな土壌動物が生息できる栄養価に富んだ土壌環境が形成されるという。

第 2 回目の実験では、実験開始時刻の試料内温度は四つの容器全てが 44°Cで、第 1 回目の実験とほぼ同じ結果だった。その後、試料内温度は開始 7 日目まで全てが下降を続けたが、屋外容器⑤は 8 日目以降上昇に転じ、9 日目には 50°C以上になった（図 3）。数日後には残りの三つの容器も上昇に転じ、屋外⑥と屋内⑦は 11 日目に 45°C以上に、そして屋内⑧も 12 日目には 50°C以上となった。この四つの容器とも、その後若干の変動を繰り返しながらしばらくは高温状態を続け、次第に漸減していった。

第 2 回目の実験では、「スターター」の糸状菌は開始 9 日～11 日目頃まで有機物分解を担い、その後「デッドヒート

期」の放線菌が交代して 30 日目頃まで分解作業を担い、そして最後の仕上げを「アンカー」の多くのバクテリアがになって堆肥化を完了させたと考えられる。

容器内温度が外気温とほぼ同じになることによって発酵は収束を迎える。すなわち、第 1 回目と 2 回目の実験で判断すると、容器①～⑦までの試料は約 40 日間で堆肥化が完了したが、容器⑧は約 50 日間で要した。

第 3 回目の実験では、実験開始時刻の試料内温度は二つの容器とも 39°C で、第 1 回目、第 2 回目の実験と同じように、40°C 前後あった試料内温度が数日間かけて下降した。しかし、第 1 回目、第 2 回目とパターンが異なったのは、開始 5 日目以降 20 日目までは外気温とほぼ同じであったこと、そして温度が急上昇したのは容器⑨が 22 日目以降、容器⑩が 31 日目以降だったこと、さらに収束までの期間は容器⑨で約 50 日間、容器⑩では 60 日間経っても収束が見られなかったことである。

一般に、樹木にはフェノール、テルペン、タンニン、精油など植物の生育を阻害する物質が、多少の差はあれ、含まれているという。とくに、フェノール類は針葉樹に多く、イチョウやクリ、サクラの木にも含まれているという（藤原, 2003）。

イチョウ落葉にフェノールが含まれていたとしても、本研究の三つの実験では、全てにわたって約 150kg のイチョウ落葉を用いて試料をつくり、堆肥化の過程を調べた。そして第 1 回目、第 2 回目の実験は、ともに発酵の収束を見た。ただ、第 3 回目の実験では「剪定枝粉碎」という剪定された樹木の枝を粉碎したものを生ごみなどと混合し、それを堆肥化する実験だった。そのため、イチョウの葉を含めた木質部分が相対的に多くなったことが、堆肥化を遅らせた大きな原因と考えられる。

容器⑨が約 50 日間で堆肥化を完了させたことは、糸状菌が「スターター」として機能したかどうかは不明だが、放線菌が 22 日目以降に活発に活動を始め、25 日間の「デッドヒート期」を牽引したものとする。その後、多くのバクテリアが「アンカー」として堆肥化を完了させたと考えられる。この事例は、木質バイオマスであっても、50 日以上の日数をかければ、木質堆肥も可能であることを示唆している。

(4) 炭素率

堆肥化には微生物の働きが必要であることは、上述したとおりである。しかし、微生物にとって活動や増殖のさいに必要なエネルギー源（炭素や窒素）も必要であることは、言を待たずでもない。エネルギー源の基準となるものが炭素率（C/N 比）である。この炭素率は、第 1 回目の実験では 18.65 で 2 回目は 19.00 だった。すなわち、微生物のエネルギー源の炭素（C）量は、微生物の増殖に必要な窒素（N）のほぼ 19 倍存在していることを意味する。良い生ごみ堆肥をつくるためには、この炭素率が 20 程度であれば堆肥化に適しているということから（農文協, 1999）、本研究における堆肥化実験は良好な条件で行われ、良好な結果が得られたと考える。

引用文献

浮田正夫（2007）「循環型社会構築のための課題」『環境管理』（財）九州環境管理協会。

門田幸代（2006）『「生ごみ堆肥」ですてきに土づくり』主婦と生活者。

農文協編（1999）『家庭でつくる生ごみ堆肥 よくある失敗 防ぐポイント』農山漁村文化協会。

農林水産省統計部（2009）『食品循環資源の再生利用等実態調査結果の概要（平成 19 年度）』。

藤原俊六郎（2003）『堆肥のつくり方・使い方 原理から実際まで』農山漁村文化協会。

細井千重子（2006）「生ゴミは「段ボール堆肥」で失敗なし」『現代農業（10 月号）』農山漁村文化協会。

有機農産物普及・堆肥化推進協会編（1999）『だれでもできる 生ごみ堆肥化大作戦』合同出版。

要旨

「ごみ」は私たちの家庭から毎日のように排出され、市役所の焼却施設で燃やされる。その内のおよそ3分の1は、食品廃棄物として出た生ごみである。生ごみを堆肥化して有効活用すれば、物を大切にする心の養成と安全・安心な野菜の生産、さらには生ごみが焼却されなくなることによる二酸化炭素の排出抑制など、環境問題の解決に大きく貢献する。本研究は、生ごみとイチョウ落葉を混ぜた有機物を、堆肥として再生利用するための堆肥化実験の結果である。生ごみ、もみ殻、イチョウ落葉で堆肥化を図るさいには、水分率が48.5–49.2%であれば概ね堆肥化が可能であると判断した。堆肥化には40–50日間を要した。そのさいには、糸状菌、放線菌などの微生物が発酵に参加したと考えた。イチョウの葉には堆肥化を阻害するフェノールが含まれているが、この実験ではほとんど影響は出なかった。ただ、剪定した枝を粉砕した物質を混ぜて実験すると、堆肥化までには50日以上を必要とした。微生物にとって有機物を分解するために必要な窒素に対する炭素の割合（炭素率：C/N）は19で、本研究における堆肥化実験が良好な条件で行われ、良好な結果が得られたことを示した。

【キーワード】 バイオマス、生ごみ、落葉、堆肥化、微生物、水分率、炭素率

Abstract

“Garbage” is discharged daily from our households and is incinerated by local city hall waste disposal facilities. Approximately one third of that discarded garbage is raw food waste. If that garbage is composted and used effectively, the mind can be nurtured to appreciate the importance of things, safe and reliable vegetables can be produced, and by a reduction in the incineration of raw garbage, a large contribution can be made to the solution of environmental problems through a reduction in the discharge of carbon dioxide. This present research is the result of a compost experiment to recycle organic matter consisting of a compost mixture of dead ginkgo leaves and raw garbage. In measuring the compost process of raw garbage, chaff, and dead ginkgo leaves, if the water percentage is between 48.5 and 49.2%, we judged the compost process to be viable. For the composting process 40–50 days were required. During that time microorganisms such as a filamentous fungi and actinomycete were considered to be involved in the fermentation process. Phenol, which is considered to be a hindrance in the compost process, is contained in ginkgo leaves, however, almost no influence appeared in our experiment. When cut branches were added as crushed material and tested, then the compost process required more than 50 days to complete. In order for microorganisms to decompose organic matter, the necessary percentage of carbon in relation to nitrogen (carbon to nitrogen ratio) was 19 percent, and the composting experiment in our present research revealed that it was conducted under ideal conditions and good results were obtained.

Key words: biomass, raw garbage, dead leaves, composting process, microorganisms, water content, carbon content.