

ミズナラ二次林における種および立地環境による落葉分解速度の比較

船戸奏規（横国大院・環境情報）・佐野哲也（森林総研）・持田幸良（横国大院・環境情報）

要旨：八ヶ岳山麓のミズナラ二次林を構成する 14 樹種とミヤコザサについて、葉の分解試験を土壤の乾湿が異なる 3 つの立地タイプ（土壤含水率の多い順に A:平坦面・林床にササなし, B:平坦面・林床にササあり, C:緩斜面・林床にササあり）で 1 年間実施した。葉の分解速度は種によって異なっていた。分解速度を Olson の分解速度定数 k で種別に定量化した結果、一番速かったマユミで $k=1.66$ 、一番遅かったミズナラで $k=0.42$ となった。種の分解速度定数 k は、葉面積や葉重とは弱い負の相関関係が認められたが、LMA（葉重/葉面積）とは相関関係は認められなかった。また多くの樹種で乾燥した立地で分解が遅くなる傾向が見られた。

キーワード：落葉分解速度、葉面積、葉重、土壤含水率、ミズナラ二次林

Abstract : Leaf decomposition of 14 tree species and one dwarf bamboo (*Sasa nipponica*) were investigated for one year at three forest floor types of oak forest in Yatsugatake volcano differentiated in soil moisture condition: flat terrace without dwarf bamboo cover; flat terrace with dwarf bamboo cover; and gentle slope with dwarf bamboo cover (soil moisture content was 70.9, 64.4, and 60.8%, respectively). Leaf decomposition rate quantified by Olson's k was differed by species. Site average of k was highest in *Euonymus sieboldianus* ($k=1.66$) and lowest in *Quercus crispula* ($k=0.42$). Species' site average of k showed weak negative correlation with leaf area ($r^2=0.35$) and leaf weight ($r^2=0.23$) but showed little correlation with LMA:leaf weight/leaf area. Overall, leaves tended to decompose slowly in drier site in many tree species.

Key words: decomposition rates, leaf area, leaf weight, soil water content, *Quercus crispula* secondary forest

I はじめに

森林生態系の中で落葉の分解は二酸化炭素放出、土壤の形成、栄養塩の還元などに関わる重要なプロセスである。リターの分解速度は気候の違いによって異なることが予想され、できるだけ様々な地域での知見の集積が必要であると考えられる。日本でも様々なバイオームでリターの分解試験が行われ、冷温帯広葉樹林を対象としたものには（2, 5）など（末尾の文献番号を示す）があるが、ブナが生育しておらずミズナラが優占するような地域での試験は比較的少ない。

分解速度を規定している要因は気候以外にも立地環境の違いや、樹種の違いなどがあげられる。立地環境による違いに関して石井ら（4）は、斜面位置の違いによって分解速度が異なることを明らかにしている。樹種による違いに関して大園（5）は、葉の構造的特徴とは関係なく、葉に含まれる成分に依存することを明らかにしている。しかしながら東北タイで行われた研究（6）によると葉の厚さと分解速度との間に有意な相関がみられたとの報告もあり一概にも判断できない。

以上を踏まえ、本研究では、ミズナラ林に生育する 15

種を対象に様々な立地環境で分解試験を行い、土壤の乾湿の違いや、種による葉の構造的特徴の違いが分解速度にどのような影響を与えるのか明らかにすることを目的とした。

II 調査地概況および調査方法

1. 調査地：分解試験は八ヶ岳南東麓山梨県北杜市清里にある横浜国立大学教育人間科学部野外教育実習施設内の森林（北緯 $33^{\circ} 56'$ 東経 $138^{\circ} 26'$ 標高 1380m）でおこなった（図-1）。調査地の気候は、内陸性気候に相当し、夏・冷涼多雨、冬・極寒少雨で（最暖月：8 月の平均気温 = 21°C 、最寒月：1 月の平均気温 = -4.9°C 、7 月の降水量 = 218mm、1 月の降水量 = 42.5mm）、WI は $62.8^{\circ}\text{C} \cdot \text{月}$ 、CI は $-32.8^{\circ}\text{C} \cdot \text{月}$ であった（野辺山気象台における試験期間の値：気象庁 2011）。

調査地内の地形は、緩やかな斜面と平坦地からなっており、地下水位が高くなる平坦地の一部は湿原となっている。土壤は、乾きがちな緩斜面では $\text{Bl}_{\text{Dd}-\text{D}_n}$ 湿りがちな平坦地では $\text{Bl}_{\text{E}-\text{F}}$ に分類されている（7）。薪炭林としての利用が放棄されたミズナラの優占する二次林で、林冠ではアカマツ、ミヤマザクラ、ヤエガワカンバ、シラ

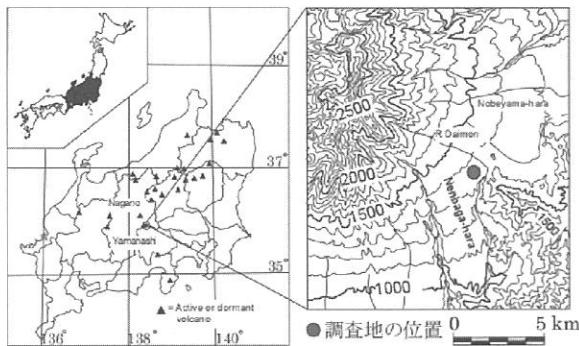


図-1. 調査地位置図

Fig.1 Location of the study area

カンバなどが、林床ではミヤコザサが優占し(1), 植物社会学的な分類ではミヤコザサ—ミズナラ群落に分類されている(3)。

2. 試験方法: 調査地に生育する14樹種(ミズナラ, クリ, アカマツ, ミヤマザクラ, ズミ, アズキナシ, ワタゲカマツカ, アオナシ, ヤエガワカンバ, シラカンバ, アオダモ, アオハダ, サラサドウダン, マユミ)とミヤコザサを対象に、調査地内で土壤の乾湿が異なると考えられた3つの立地、A(平坦面・林床にササなし), B(平坦面・林床にササあり), C(緩斜面・林床にササあり)において、リターバック法による落葉の分解試験を実施した。なお、ミヤコザサについてはAでの試験は実施しなかつた。

試験に用いた葉は、広葉樹の紅葉が完了した2009年10月に、枝についているものを直接採集した。これを、風乾し、2~6gを1.6mm目合いの養殖用網で作成したリターバックに封入し、1回の回収につき、各立地2サンプル採取できる量を種別に作成した。なお、封入したサンプルの絶乾質量を算定するため、風乾したサンプルの一部を乾燥器にて80°Cで48時間乾燥させ、質量減少率を測定し乾燥係数を求めた。さらに、葉の構造的特徴については風乾状態で測定が可能であった9種(ミズナラ, クリ, ズミ, アズキナシ, アオハダ, サラサドウダン, ヤエガワカンバ, シラカンバ, ワタゲカマツカ)について、各々の種について20枚の個葉を用い、個葉の葉面積、葉重を測定し、LMA(=葉重/葉面積)を算出した。葉面積の測定は方眼紙に葉をトレースし方眼の数を数えることで行い、葉重は葉面積を測定した葉について、乾燥器にて80°Cで48時間乾燥させ絶乾質量を測定した。

リターバックは2009年11月に各地点に設置し、半年後(翌年5月), 9ヶ月後(翌年8月), 1年後(翌年11月)に回収した。回収したサンプルは、混入した土を除去、80°Cで48時間乾燥した後、質量を測定した。また、各試験地点の土壤含水は、2010年11月に100m lの採土

円筒で土壤を採集し(表層0~5cm), 絶乾時の質量減少率を測定することによって求めた。

3. 解析方法: 各サンプルについて、分解前と分解後の絶乾質量より重量残存率を算出した。また、この値を用いて分解速度を以下に示す Olson (1963) の分解速度定数kで量化した。

$$Mt = M_0 \exp(-k \cdot t)$$

ここで、tは時間(年), Mt: tにおける重量残存率, M_0 は初期重量残存率(=100), kは分解速度定数(1/年)で、種および立地ごとにkを求めた。種ごとに平均したkの値については、統計ソフトRを用いて一元配置分散分析の多重比較を行い、差を比較した。また、葉の構造的特徴と分解速度の関係をみるために、両者の相関係数を解析した。

III 結果および考察

表1に種および立地環境別に1年経過後の重量残存率と1年間の葉の重量減少経過から求めた分解速度定数k、立地ごとの土壤含水率を示した。種は調査地において高木種と低木種にあたるものとササにあらかじめ分類し、学名のアルファベット順に表記した。また図1に各々の種について葉の重量減少経過を示した。

1. 種による分解速度の違い 一年経過後の種ごとの重量残存率は64.4% (ミズナラ) ~20.9% (マユミ)と大幅に異なった。分解速度を6か月, 9か月, 12か月経過後の重量残存率を用いてOlsonの分解速度定数kで種別・立地環境別に量化し平均した結果、一番遅かったミズナラでk=0.42、一番速かったマユミでk=1.66となり、約3.8倍の違いが見られた。分解速度は種ごとに大きく異なった。kについて分散分析を行った結果、分解の遅い順にミズナラ^a, アカマツ^{ab}, シラカンバ^{ab}, ワタゲカマツカ^{ab}, クリ^{abc}, アズキナシ^{abc}, アオダモ^{abc}, ミヤコザサ^{abc}, ヤエガワカンバ^{abc}, サラサドウダン^{bd}, ミヤマザクラ^{cd}, アオナシ^{cd}, ズミ^{cd}, アオハダ^{de}, マユミ^eとなった(表1注釈*参照)。林冠を形成する高木種については、ミズナラが最も分解が遅く(k=0.42)、アオハダが最も早かった(k=1.27)。また低木種ではワタゲカマツカが最も遅く(k=0.51)、マユミが最も速かった(k=1.66)。ミヤコザサはk=0.71と他の14種と比べると中程度の速さであった。

既往研究では(5)が京都の冷温帶林において14種の分解経過を調べ、kのレンジが0.14~1.69であることを報告している。本研究の結果で観測されたkのレンジはそれに比べてやや小さかった。また、(2)では北海道の落葉広葉樹林および針葉樹林にて5種の分解経過を調べ各種の重量残存率を報告しているが、その数値から求めたkの値のレンジは0.32~0.83と本研究よりkの大きな

種が少なかった。また個々の種について既往研究と比較すると、(5)ではミズナラ、クリに関して順に $k=0.37$ ~ 0.43 , $k=0.5\sim0.54$ との報告があり、ミズナラは同程度、

クリについては本研究の方が分解速度が速かった。(2)ではミズナラに関して $k=0.83$ との報告があり、本研究の方が、大幅に分解速度が遅かった。

表-1 各植物種・立地環境における分解速度定数 k および立地環境ごとの土壤含水率

Table 1. Decomposition rate of each species and plots

| 階層区分 | 学名 | 和名 | 分解速度定数 k (/年) | | | | Max/min |
|------|---|----------|-----------------|------|------|---------------------|---------|
| | | | A | B | C | 平均 | |
| 高木種 | <i>Betuladavurica</i> | ヤエガワカンバ | 0.89 | 0.88 | 0.7 | 0.82 ^{abc} | 1.27 |
| | <i>Betulaplatyphyllavar. japonica</i> | シラカンバ | 0.51 | 0.51 | 0.48 | 0.50 ^{ab} | 1.06 |
| | <i>Castaneacrenata</i> | クリ | 0.61 | 0.63 | 0.59 | 0.61 ^{abc} | 1.07 |
| | <i>Fraxinuslanuginose</i> | アオダモ | 0.83 | 0.61 | 0.58 | 0.67 ^{abc} | 1.43 |
| | <i>Ilex macropoda</i> | アオハダ | 1.5 | 1.26 | 1.06 | 1.27 ^{de} | 1.42 |
| | <i>Malostoringo ex Vriese</i> | ズミ | 1.07 | 0.97 | 0.99 | 1.01 ^{cd} | 1.10 |
| | <i>Pinusdensiflora</i> | アカマツ | 0.49 | 0.48 | 0.51 | 0.49 ^{ab} | 1.06 |
| | <i>Prunusmaximowiczii</i> | ミヤマザクラ | 1.09 | 0.89 | 0.84 | 0.94 ^{cd} | 1.30 |
| | <i>Quercuscrispula</i> | ミズナラ | 0.45 | 0.47 | 0.34 | 0.42 ^a | 1.38 |
| | <i>Sorbusalnifolia</i> | アズキナシ | 0.66 | 0.67 | 0.58 | 0.64 ^{abc} | 1.16 |
| 低木種 | <i>Enkianthuscampanulatus</i> | サラサドウダン | 0.96 | 0.87 | 0.84 | 0.89 ^{bd} | 1.14 |
| | <i>Euonymus sieboldianus</i> | マユミ | 1.94 | 1.78 | 1.25 | 1.66 ^e | 1.55 |
| | <i>Pourthiaeavillosa</i> var. <i>villosa</i> | ワタゲカマツカ | 0.53 | 0.57 | 0.42 | 0.51 ^{ab} | 1.36 |
| | <i>Pyrussussuriensis</i> var. <i>hondoensis</i> | アオナシ | 1.05 | 0.97 | 0.91 | 0.98 ^{cd} | 1.15 |
| 草本種 | <i>Sasanipponica</i> | ミヤコザサ | — | 0.64 | 0.78 | 0.71 ^{abc} | 1.22 |
| | | 平均 | 0.90 | 0.81 | 0.72 | 0.81 | 1.24 |
| | | 土壤含水率(%) | 70.9 | 64.4 | 60.8 | | |

* k の数値右肩のアルファベットは危険率 5%で分散分析を行った結果有意差がないものどうしを同じアルファベットで示した。

*Max/min は k が最大であった立地と最小であった立地の比。

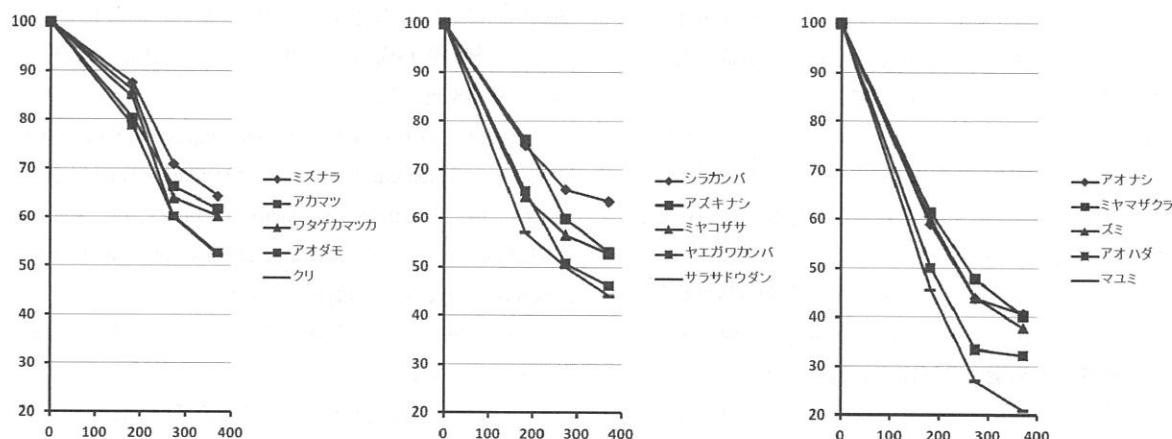
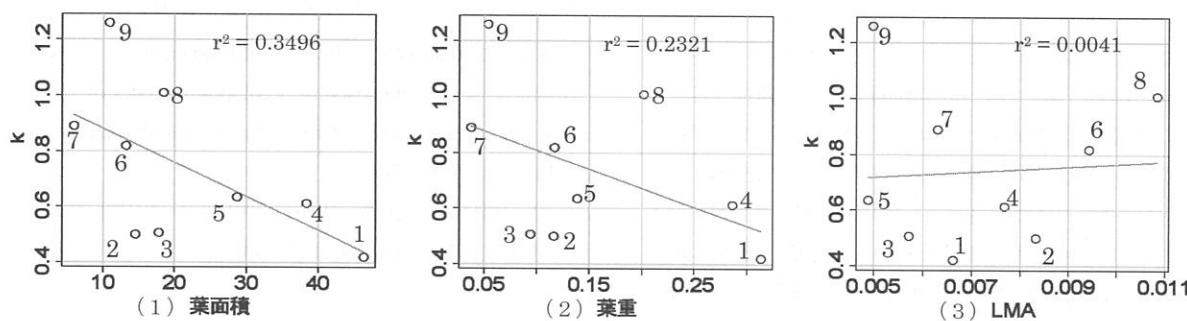


図-2 各種の分解過程（横軸は経過日数、縦軸は重量残存率（%））

Fig.2 Changes in weights(%) of 15 species during the decomposition



凡例：1 ミズナラ、2 シラカンバ、3 ワタゲカマツカ、4 クリ、5 アズキナシ、6 ヤエガワカンバ、7 サラサドウダン、8 ズミ、9 アオハダ

図-3. (1) 葉面積(cm^2)・(2) 葉重(g)・(3) LMA(g/cm^2)と分解速度定数 k (/年)の関係Fig.3 Relation between (1) leaf area,(2) leaf weight, (3) LMA and Olson's k

重量減少経過（図2）を見てみると、ミヤマザクラ、ヤエガワカンバ、マユミ、アオハダ、アオナシ、ズミ、サラサドウダンなど分解速度が速かった種は分解初期（11～5月）に最もよく分解が進み、ミズナラ、アカマツ、アズキナシ、クリ、ワタゲカマツカなど分解速度が遅かった種は分解初期よりも5～8月の間に最もよく分解が進んだ。なお、図示はしていないが、この種特有の重量減少経過は、立地環境が異なっても変化は見られなかった。

2. 立地環境による分解速度の違い 立地環境別にみると分解速度定数kの違いに有意差は認められなかった。立地環境ごとの土壤含水率はA（平坦面・林床にササなし）で70.9%，B（平坦面・林床にササあり）で64.4%，C（緩斜面・林床にササあり）で60.8%となり（表1），斜面より平坦面で高く、平坦面では林床にササが密生している場所ほど含水率が高かった。立地ごとに求めた種平均のkは立地Aで0.90、Bで0.81、Cで0.72となり、含水率の高い立地で分解が速い傾向が見られた。種別にみると、ヤエガワカンバ、サラサドウダン、ミヤマザクラ、アオナシ、アオハダ、マユミなど比較的の分解速度の速い6種で土壤含水率が高い立地ほどkの平均値が大きく分解が速くなる傾向が見られた。これらに、ミズナラ、シラカンバ、ワタゲカマツカ、クリ、アズキナシの5種を含めた全部で11種が緩斜面（C）で最も分解速度が遅くなっている、全体的に乾燥した立地で分解速度が遅くなる種が多い傾向が見られた。ただし、土壤含水率については11月に一回測定したのみであり季節的な変動を考慮していない為、この点については検討の余地がある。

3. 葉の構造的特徴と分解速度の関係 葉の回収時に構造的特徴が測定可能であった9種について、(1)葉面積、(2)葉重、(3)葉面積当たりの葉重と分解速度定数kの関係を調べた結果を図3に示した。種の分解速度定数kは、葉面積や葉重との間に弱い負の相関関係が認められたが（順に $r^2=0.35$, 0.23）、葉面積当たりの葉重との間に相関関係は認められなかった。東北タイの熱帯雨林で7種について調べたTakedaらの既往研究（6）では、分解速度と葉面積、葉重とは関係が見られず、葉面積当たりの葉重と強い相関関係が見られたことを報告している。また、既往研究（5）は、冷温帶に生育する14種について調べ、葉面積当たりの葉重や葉の硬さ、葉の厚さなど葉の構造的特徴と分解速度との間には相関関係が見られなかったことを報告している。葉面積や葉重に関する話題は言及されていなかったが、葉面積当たりの葉重と相関がみられなかった点に関して本研究では同様の結果となった。東北タイ林での既往研究（6）の結果は（5）

の研究や本研究の結果と異なっていたがその要因として考えられるのは、冷温帶林と熱帶林のような森林タイプの違いや葉の構造的特徴の測定方法の違いがあると思われる。今回は20枚の葉の平均値を解析に用いたが、葉の構造的特徴は同一種内でも大きなばらつきがあり、誤差を小さくするためにより多くのサンプル数が必要であると考えられる。また、今回は紅葉した葉について葉の構造的特徴を調べたが、時期によって葉の重量は変化することが考えられるため、この点についても考慮する必要があると考えられる。

葉の構造的特徴と分解速度に相関関係が無いことを示した既往研究（5）は、未分解落葉のリグニンやポリフェノールなど有機成分、カリウム、カルシウムなど無機成分濃度と分解速度には相関関係が見られたことを示している。したがって、今後樹種ごとの落葉の分解速度の遅速を説明するためには構造的特徴だけでなく含有成分や化学性についても検討が必要であると考える。

IV 引用文献

- (1) 土畠正和・横山一郎・持田幸良（2000）野外教育施設構内における森林群落の植物生態学的研究 I—ミズナラ二次林の森林構造と立地との関係— 横浜国大野外教育研報 18: pp. 27-36
- (2) HARDIWINOTOSURYO (1991) Decomposition Process and Dynamics of Nutrient Elements in Deciduous Broad-leaved Forests and Evergreen Coniferous Forests of Northern Hokkaido, Japan Reccesrh Bulletins of the College Experiment Forests 48 (2) pp. 325-353
- (3) 星（1999）八ヶ岳南東地域の森林植生 横浜国大野外教育研報 16: pp 1-20
- (4) 石井弘・片桐成夫・三宅登（1982）尾根筋にアカマツを混交した落葉広葉樹の斜面位置による落葉種組成の相違と分解速度 日林誌 64(2): pp. 66-71
- (5) 大園享司（2007）冷温帶林における落葉の分解過程と菌類群集 日本生態学会誌 57: pp. 304-318
- (6) TAKEDAHIROSHI, PRACHIYOBUREDand TSUTSUMI TOSHIO (1984) Comparison of decomposition rates of several tree leaf litter in a tropical forest in the north-east Thailand Jap. J. Ecol 34: pp. 311-319
- (7) 山梨林業試験場（1976）昭和50年度山梨県民有林適地適木調査説明書 八ヶ岳地域