

B-6 陸域生態系の二酸化炭素動態の評価と予測モデリングに関する研究

(2)人為的生態系の二酸化炭素変動機構のモデル化と予測

② 森林施業におけるシーケストレーションの評価

研究代表者 森林総合研究所木曽試験地 酒井 寿夫

農林水産省森林総合研究所

木曽試験地 酒井 寿夫

関西支所 造林研究室 清野 嘉之

関西支所 土壌研究室 荒木 誠

平成8-10年度合計予算額 7,461千円

(平成10年度予算額 2,481千円)

[要旨]

山梨県東山梨郡牧丘町の標高2000m~2200mの亜高山帯針葉樹林において、自然性の高い林分における土壌炭素貯留量の実態を把握すること、そこでのカラマツ林施業が土壌中の炭素貯留量に与える影響を明らかにすることを目的に調査を行った。調査対象地域における表層地質は花崗岩であった。また土壌タイプについては、林野土壌の分類(1975)によれば、調査した4つの土壌断面のうち3つは乾性ポドゾル化土壌、1つは暗色系褐色森林土であった。50×40mのシラベ林調査区における30地点の簡易土壌調査の結果、土壌中の炭素貯留量は地形によって157~308 tC/haの広い範囲に及んでいること、残積成の場所で炭素貯留量が多いことがわかった。そこで地形条件および土壌型をそろえてカラマツ林とシラベ-コメツガ林の土壌を比較することにした。カラマツ林は30~40年前にコメツガ、シラベを主体とする自然林の伐採後に造林された林分を調査対象とした。残積成の場所でカラマツ林とシラベ-コメツガ林の土壌を層位ごとに炭素貯留量を比較すると、集積層であるB層に顕著な差が見られ、カラマツ林の方が土壌炭素貯留量が少なかった。本研究では同一林分の経年変化を調査したわけではないので推測の域は出ないが、自然林伐採後のカラマツ造林により土壌中の炭素貯留量は30~40年の間に50 tC/ha規模の減少があったのではないかと推定した。また現林分における土壌への炭素供給源として重要と考えられるリターフォール量、堆積有機物層の現存量、細根量(直径<1mm,土壌深30cmまで)について調べた結果、カラマツ林ではそれぞれ2.0t/ha, 22.0t/ha, 3.3t/ha, シラベ林では4.9t/ha, 55.0t/ha, 8.7t/haであった。この結果、現在のカラマツ林はシラベ林に比べて明らかにリターフォール量、堆積有機物層の現存量、細根量が少なく、今後のカラマツ林における土壌炭素貯留量についても、もとの自然林のレベルまで回復することは難しいと考えられた。

[キーワード]

シラベ, コメツガ, カラマツ, 亜高山帯, 土壌炭素貯留量, 森林施業

1. 序

地球温暖化問題に関連して、生物圏における炭素がどれだけ存在し、どれだけの量が生物圏－大気圏の間で交換されているのかを把握することが非常に重要な課題となっている。森林生態系は炭素の貯留場所として地球上で大きな役割を担っているが、その中の土壌炭素貯留量の推定値は、いまだに正確性を欠いているといわれており、さまざまな研究を通じて、より多くの正確な情報を提供することが必要である。また、森林は人類にとって重要な資源でもあり、その利用形態によって水源涵養林のような自然性の高い森林から木材収穫を目的とした人工林まで、森林への人為影響の度合いもさまざまで、人為の度合いによっては森林から大気へ炭素が放出される場合もある。自然林においては、大気、植物、土壌という3者の間を炭素は植物の生育を中心に生態系の営みの中で安定的に循環しているが、人工林は木材を収穫するという目的のために、木材という形で炭素が生態系外に持ち出されてしまい、その場所についてみれば非常に不安定な炭素動態が予想される。森林伐採が炭素循環に及ぼす影響を土壌を中心に述べると次のようになる。伐採によって木材が系外に持ち出されると、リターフォール・細根の成長枯死による土壌への炭素供給が止まる。その後、造林木が成長しはじめると、細根の更新や枝葉のリターによる土壌への炭素供給が再び始まるが、土壌への炭素供給量が成熟した林分のレベルにまで回復するには長い年月がかかる⁶⁾。一方、土壌中における微生物活動は、伐採されるまでに土壌中に貯留されてきた有機物によって支えられるので、伐採後の数年間は土壌中の有機物分解量は大きく変化しないと考えられる。こうして森林伐採後は土壌における炭素の収支バランスがくずれるために土壌中の炭素貯留量は一時減少に向かうことも想定される。このような土壌炭素貯留量の減少が見られるのかどうか、またもし見られるとすればその減少量はどれくらいの規模になるのか、これらのことを明らかにすることは、森林施業が地球の炭素循環に及ぼす影響を評価する上で非常に重要であると考えられる。

2. 研究目的

森林伐採による土壌中の炭素貯留量の変化については、過去に皆伐にともなう土壌の変化というテーマの一部として、例えばスギ林およびヒバ林で検討されたものがある^{6) 7)}。しかし、森林伐採をおこなってから次世代の造林木が成熟するには長期間を要するため、同一林分における経年変化を調べるという方法では非常に長い研究期間を必要とすること、林齢の異なる林分を比較する方法では、野外で気候、母材、地形、土壌の諸条件が等しく、森林伐採の影響のみを比較できる調査地を選定することが困難であるという理由から、このようなテーマの研究例は非常に少ない。また、日本の森林は気候帯・標高帯にしたがってさまざまなタイプが存在するため、森林伐採の影響も異なった形で現れる可能性があること、そして序文で述べたように、土壌炭素貯留量のより正確な推定の必要性があることなどを考慮し、いままでの研究で扱われていない森林帯でデータを得心することも意義のあることと思われる。

ここでは、情報の少ない森林生態系で炭素貯留量の実態を調べることで、そこでの森林施業が土壌中の炭素貯留量（シーケストレーション）に及ぼす影響を明らかにすることの2点を目標に、本研究では、土壌炭素貯留量に関して情報の少ない亜高山帯を調査対象地域として選定し、そこでの自然性の高いシラベ・コメツガが優占する林分における土壌炭素貯留に関する基礎的な情報を得ること、また、亜高山帯域におけるカラマツ林施業が、土壌中の炭素貯留量にどのような影響があるのか推定することを目的に調査を行った。

3. 研究方法

調査対象地として亜高山帯でカラマツ林施業を行っている山梨県東山梨郡牧丘町の山梨県県有林（塩山事業区）を選定した。表層地質は花崗岩で、土壌型は主に乾性ポドゾルが分布する。調査林分のカラマツ林は1961年に約200～300年生のコメツガを主体とする自然林を皆伐した後、1966年にカラマツ植林を行ったことがわかっている。対象区としては人為の影響の少ないシラベ、コメツガなどが優占する林分を選定した（表-1）。なお、このカラマツ林の林床植生は現在ササ型であるが、当時伐採に携わった方からの聞き取りによると、伐採前の林内は暗く、林床にはまばらにササが混生するもののコケが主体の林床だったということである。このような調査対象地において以下の3つの調査を行った。

（1）自然性の高い林分における土壌炭素貯留の実態を明らかにするために、対象区の1つであるシラベ林について40×50mの多点調査区（MPI plot）を設置し（図-1）。そのプロットを10mごとに区切った交点上の30地点においてリターフォール量の調査および大型検土杖による簡易的な土壌調査を行った。検土杖による土壌調査では層位区分、分析試料の採取を行った。また、仮比重の算出には検土杖の採取容積を利用した。土壌分析試料の調整は下記（2）の方法と同様に行った。

（2）カラマツ林施業が土壌炭素貯留量に及ぼした影響を推定するために、カラマツ林とシラベコメツガ林において、母材の堆積条件が残積成と匍行成の場所でそれぞれ1地点ずつ土壌断面調査をおこなった（表-1、図-1）。土壌分析試料は層位ごとに化学分析用と円筒（400cm³もしくは100cm³）試料を採取した。円筒試料は細土（直径2mm以下）、レキ、根に分離し、仮比重を算出した。化学分析用の試料はレキ、根を完全に分離し、細土部分の炭素含有率をCNコーダー（柳本）を用いて分析した。仮比重および炭素貯留量の算出には以下の式を用いた。

$$Bd = Gs / Vt$$

$$Cs = Cc \times Bd \times T$$

Bd：仮比重(g/cm³)、Cs：各土壌層位の単位面積あたりの炭素貯留量(tC/ha)、Gs：細土の絶乾重量、Vt：円筒の容積(cm³)、Cc：炭素含有率(%), T：各土壌層位の厚さ(cm)

なお、土壌分類については土じょう部（1976）¹⁾に、土壌層位名の記載はFAO（1990）²⁾にしたがった。

（3）現時点における土壌への有機物供給量を推定するために、カラマツ林（Od-L2）とシラベ林（MPI plot）で年間のリターフォール量および細根の現存量（直径<1mm、土壌深30cmまで）を調査した。

4. 結果と考察

4. 1 自然性の高いシラベ林における土壌炭素貯留量の分布

図-2にシラベ林における多点調査の結果を示した。このシラベ林においてはリターフォールによる土壌への年間の炭素供給量は30カ所の平均で2.8tC/ha/yrで、そのばらつきの範囲は1.1～5.1tC/ha/yrであった。リターフォール量の分布は樹木の齢構成や分布の状態が主要因と考えられ、立木密度の小さい沢筋で少なくなる傾向があった。堆積有機物層と土壌の炭素貯留量については調査林分全体ではそのばらつきはそれぞれ0～34.8 tC/ha、0～308 tC/haの範囲にあった。また調査林分内の土壌層位の発達している場所限定してみると堆積有機物層は15.6～34.8 tC/ha、土

壤は157~308 tC/haの範囲にあり、地形的には残積成の場所で土壤炭素貯留量が多かった。リターフール量の分布は堆積有機物および土壤中の炭素貯留量の分布とはほとんど対応しておらず、現時点における土壤への有機物供給量が多少が堆積有機物および土壤中の炭素貯留量とは直接結びついてなかった。この要因の一つとして有機物供給量よりも堆積有機物層、鉱質土層における有機物の分解量が、地形の違いによる水分環境の違いなどの影響を大きく受けていることが考えられた(図-2)。この調査結果から土壤中の炭素貯留量は地形によりかなり大きく異なるということが明らかとなった。

4. 2 カラマツ林施業が土壤炭素貯留量に及ぼした影響の評価

(1) 堆積有機物層について

自然林ではF層、H層が明瞭に観察されたが、カラマツ林では明瞭なH層は観察されなかった(表-2)。また、堆積有機物層全体の炭素貯留量についてみるとシラベを主体とした自然林のOd-1では39tC/ha、Od-5では24tC/haであった。一方、カラマツ林のOd-L5では9tC/ha、Od-L2では11tC/haでカラマツ林の方が明らかに少なかった。これらの原因として皆伐造林にともなう地表攪乱などの影響や造林後のリターフール量の少ない期間に堆積有機物層自体の分解進んだことが考えられた。

(2) カラマツ林とシラベ林の土壤中の炭素貯留量の比較

表-2には土壤調査結果の概要を示した。残積成の場所で調査したOd-1(シラベ-コメツガ林)とOd-L5(カラマツ林)の土壤表層には、不連続ではあるが、いずれの土壤断面にも明瞭な溶脱部分が観察され、林野土壤分類¹⁾に従えばいずれもPDIIと判断された。AE層の炭素貯留量はOd-1とOd-L5でそれぞれ47、41tC/ha、Bhs層では81、56tC/haであった。Bs1層以下の深い部分の比較は各層位の厚さが大きく異なるため単純に比較できないが、Bs1とBs2を合わせて比較すると(層厚40cmと45cm)、180、123tC/haであった。Bhs~Bs2層はポドゾル性土における腐植・鉄・アルミニウムの集積層²⁾であるが、Od-1とOd-L5を比較した場合、これらの層に顕著な差が見られ(ここでは約82tC/ha)、明らかに自然林のOd-1の方が炭素貯留量が多かった。表層の炭素貯留量に大きな差が見られないのはカラマツ造林が行われてから30余年も経っているため、表層の炭素貯留が回復してきているためと考えられた。匍行成の場所で調査したOd-5(シラベ林)とOd-L2(カラマツ林)については土壤型が異なるため、単純に比較するには適当ではないが、参考値として比較すると、両土壤の表層から20cmまでの範囲では炭素貯留量に大きな差は見られなかったが、20cm~約100cmの範囲ではシラベ林の方が52tC/haほど炭素貯留量が多かった。これらの結果から、亜高山帯の自然林を伐採し、カラマツ造林を行ってから30余年後の土壤炭素貯留量は伐採前より少ない量になっていると考えられた。また、土壤炭素減少量は同一林分で伐採前から経年的に調査したわけではないので推定の域をでないが、50tC/ha以上の規模になる可能性があると考えられた。

(3) カラマツ林における今後の土壤炭素動態について

鉱質土層への直接の有機物供給源は堆積有機物層および細根であるが、堆積有機物量はリターフ

オール速度と堆積有機物自身の消失（分解と土壌中への移動）速度のバランスによって決まってくる⁴⁾ということを考えれば間接的にはリターフォールも土壌への有機物供給源といえる。そこで、今後のカラマツ林の土壌炭素動態を推定するために、現在のリターフォール量、堆積有機物層の現存量および土壌深30cmまでの細根量についてカラマツ林とシラベ林で比較した。リターフォール量はカラマツ林で2.0t/ha (0.9tC/ha) , シラベ林で4.9t/ha (2.6tC/ha) , 堆積有機物層の現存量はカラマツ林で22.0t/ha (約10.1tC/ha) , シラベ林で55.0t/ha (約24.0tC/ha) , 細根量はカラマツ林で3.3t/ha (推定1.8tC/ha) , シラベ林で8.7t/ha (推定4.7tC/ha) であった。この結果、現在のカラマツ林は自然性の高いシラベ林に比べて明らかにリターフォール量、堆積有機物層の現存量および細根量が少なく、今後も土壌炭素貯留量はもとの自然林のレベルまで回復することは難しいと考えられた。

5. 引用文献

- 1) 土じょう部 (1976) 林野土壌の分類(1975), 林業試験場研究報告, 280 : 1-28
- 2) E.M. Bridges (1978) World Soils, pp.128, Cambridge University Press
- 3) FAO (1990) Guidelines for Soil Profile Description. 3rd edition, Rome
- 4) 中根周歩 (1986) 森林生態系における炭素循環, 日本生態学会誌, 36 : 29-39
- 5) 只木良也ほか (1977) 森林の生産構造に関する研究XVIII. 朝日岳周辺におけるシラベしま枯れ林の構造と一次生産, 日本生態学会誌, 27 : 83-90
- 6) 堤 利夫 (1964) 森林の成立および皆伐が土壌の2・3の性質に及ぼす影響について. 第2報 皆伐による土壌中諸物質の変化, 京都大学演習林報告, 35 : 110-126
- 7) 山谷孝一 (1965) ヒバ林伐採跡地土壌の経年変化について(I). 落葉層の形態変化および土壌有機物の動態, 47(6) : 199-204

[研究成果の発表状況]

(1) 口頭発表

- 1) 酒井寿夫 (1997) 奥秩父花崗岩地帯の森林土壌の炭素蓄積量, 日本林学会大会講演要旨集, 108: p.93
- 2) 酒井寿夫 (1998) 森林施業が土壌中の炭素貯留量に及ぼした影響の推定法について, 日本林学会大会講演要旨集, p.300

(2) 論文発表

なし

(3) 出願特許、受賞等

なし

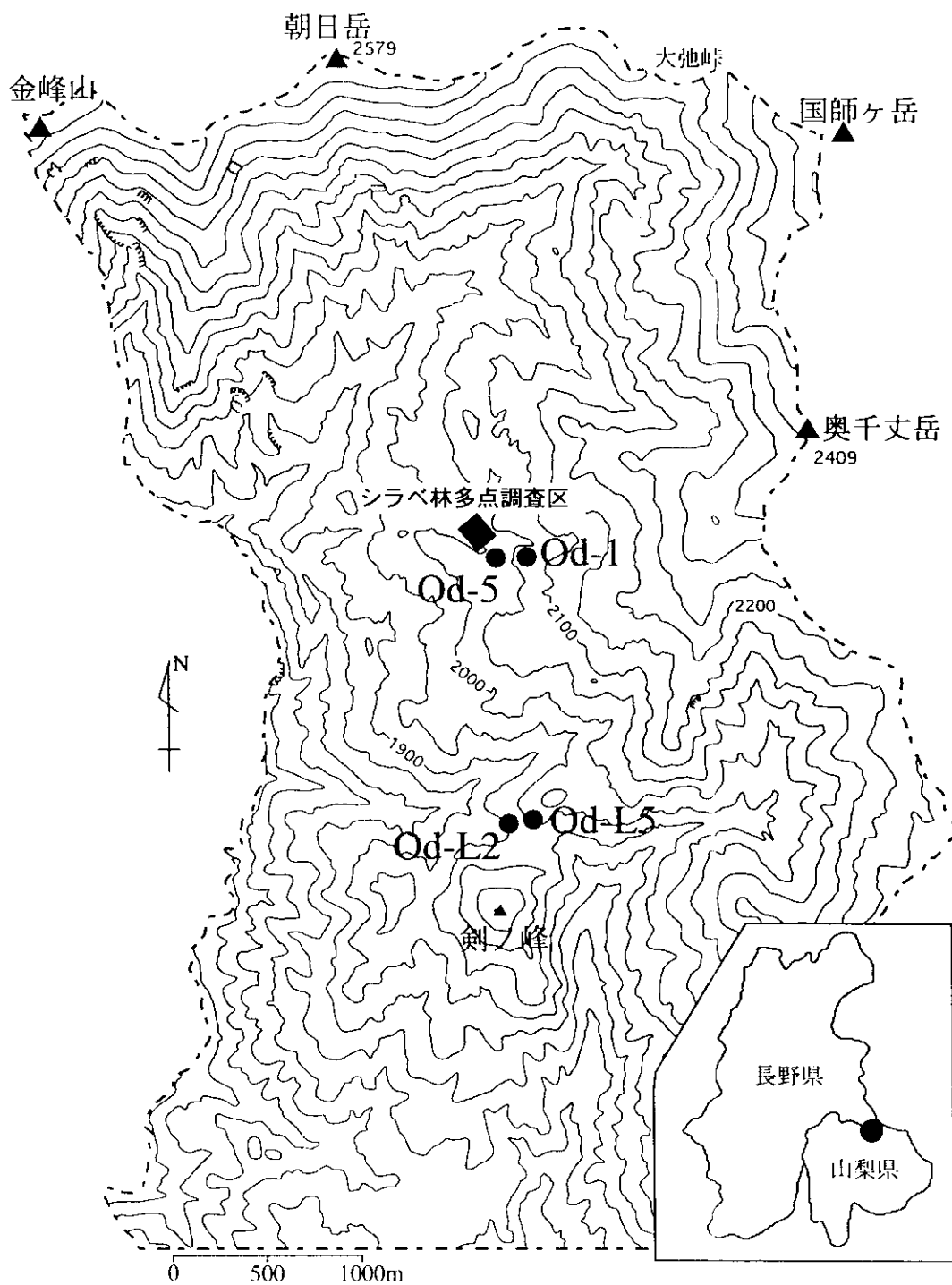


図-1 調査地点

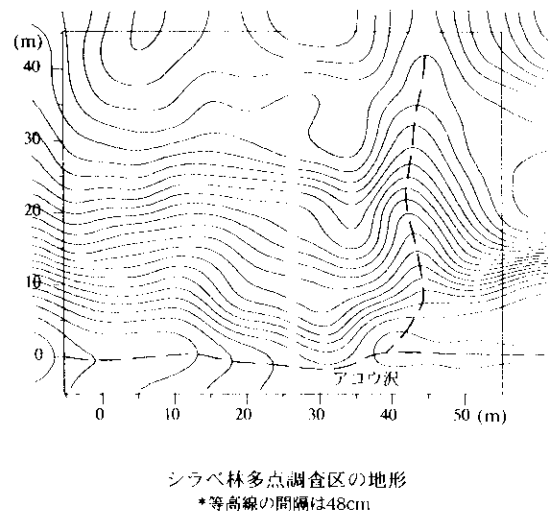
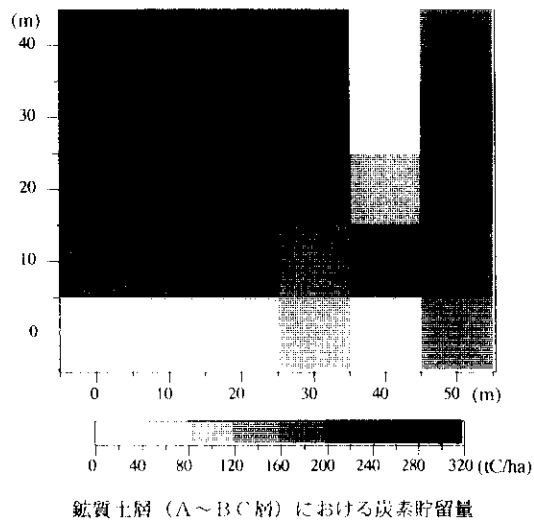
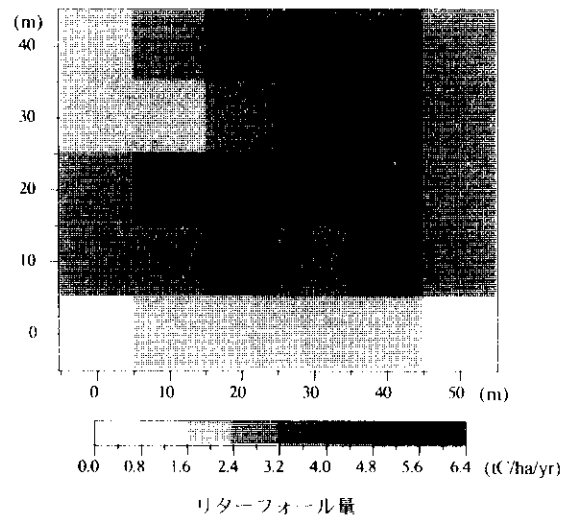
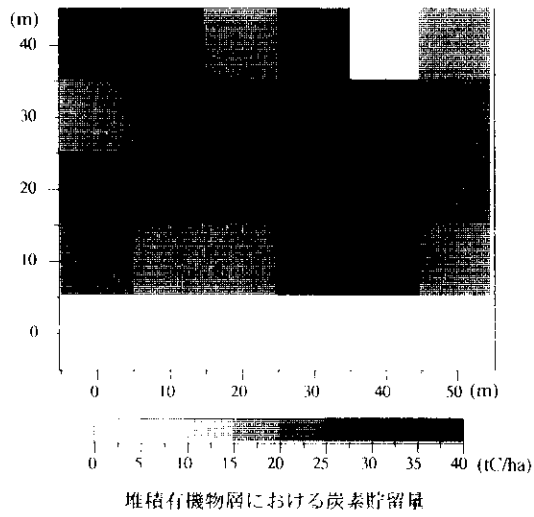


図-2 シラベ林多点調査区における堆積有機物層と鉱質土層の炭素貯留の実態とリターフール量

表-1 土壌調査地点の概要

| | 標高(m) | 堆積様式 | 斜面方位 | 傾斜 | 優占種 | 林床型 |
|-------|-------|------|--------|-----|----------|-----|
| Od-1 | 2100 | 残積成 | N80° W | 7° | シラベ-コメツガ | コケ |
| Od-L5 | 2000 | 残積成 | N80° W | 9° | カラマツ | ササ |
| Od-5 | 2000 | 匍行成 | S70° W | 27° | シラベ | コケ |
| Od-L2 | 2000 | 匍行成 | N 8° W | 26° | カラマツ | ササ |

表-2 土壌調査結果の概要

| 調査地点 | 層位区分 | 層厚 cm | 仮比重 g/cm ³ | 炭素含有率 % | 炭素貯留量 tC/ha | |
|-------|-------|----------|--------------------------|------------|----------------|-----|
| Od-1 | LF | 3 | | | 14 | |
| | PbII | H | 5 | | | 25 |
| | | A Eh | 10 | 0.50 | 9.3 | 47 |
| | | Bhs | 10 | 0.46 | 17.7 | 81 |
| | | Bs1 | 18 | 0.51 | 11.9 | 109 |
| | | Bs2 | 22 | 0.70 | 4.6 | 71 |
| | | BC | 12 | 0.83 | 3.6 | 36 |
| | | C | 18 | 0.95 | 1.1 | 19 |
| 計 | | | | 401 | | |
| Od-L5 | LF | 10 | | | 9 | |
| | PbII | A Eh | 9 | 0.34 | 13.5 | 41 |
| | | Bhs | 11 | 0.40 | 12.7 | 56 |
| | | Bs1 | 30 | 0.56 | 5.3 | 89 |
| | | Bs2 | 15 | 0.63 | 3.6 | 34 |
| | | Bs3 | 23 | 0.70 | 2.5 | 40 |
| | | BC | 22 | 0.97 | 0.5 | 11 |
| | | 計 | | | | 280 |
| Od-5 | LF | 4 | | | 19 | |
| | PbIII | H | 1 | | | 5 |
| | | Ah | 5 | 0.41 | 18.2 | 37 |
| | | Bhs | 15 | 0.34 | 14.4 | 73 |
| | | Bs1 | 20 | 0.40 | 8.2 | 66 |
| | | Bs2 | 55 | 0.52 | 4.0 | 114 |
| | | C | 5 | 0.86 | 0.1 | 1 |
| 計 | | | | 315 | | |
| Od-L2 | LF | 11 | | | 11 | |
| | dBp | Ah1 | 10 | 0.22 | 27.7 | 61 |
| | | Ah2 | 10 | 0.23 | 22.4 | 52 |
| | | B1 | 18 | 0.20 | 11.7 | 42 |
| | | B2 | 22 | 0.45 | 2.8 | 28 |
| 計 | | | | 193 | | |

(注) 土壌層位の記載はGuidelines for Soil Description, FAO, 1990によった。堆積有機物層については国有林林野土壌調査方法書の記載とした。分類は林野土壌の分類, 上じょう部1975によった。