

島根県奥出雲町の造林地土壌の理化学性への火入れの影響

長谷川裕子¹⁾・金子信博²⁾・松本卓也¹⁾・佐藤邦明¹⁾・岩島範子¹⁾・増永二之¹⁾

Effect of slash and burn land preparation on soil properties in forest plantation sites in Okuizumo, Shimane.

Yuko HASEGAWA, Nobuhiro KANEKO, Takuya MATSUMOTO, Kuniaki SATO, Noriko IWASHIMA, Tsugiyuki MASUNAGA

Abstract Slash and burn land preparation for reforestation has been conducted in Okuizumo region, Shimane for more than 20 years. In the present study, we investigated the effect of the burning on the soil physicochemical properties considering with passage of time after burning in forest plots with different years passed after the burning in this region. We also conducted a pot experiment to study the relationships between the soil with different years passed after the burning and soil course structure, and plant productivity. Soils were generally very porous with course pore spaces with solid phase volume less than 40%, except for sub soils of S15 and S5 sites. C/N ratio was relatively small in S5 and K1, and was large in K3. Available P content was high at the surface soil in all sites. It was high in the order of K1>K3>S5>K11>S15>S11 and was more than 120mg kg⁻¹ in the sites of andisol and S5. It was suggested that avail. P level decreased as the time passed after the burnig. In the pot experiment with Komatsuna, K11, S5, K3, K1 that had relatively high avail. P, exchangeable cations, total C and N contents showed better plant growth than the others. However, Komatsuna growth was correlated with not only the nutrients of NPK, but also development of soil course structure. Komatsuna growth was the biggest in K11 and S5 where relatively long period had passed. In these sites, soil course structure started to re-develop from soil disturbance during red radish cultivation (1 cropping season) associated after the burning. From these results, it was suggested that the passage of time after the burning influenced on plant growth through not only soil chemical properties change, i.e. soil fertility, but also soil course structure development.

Keywords: available P, slash-and-burn, soil course structure, soil properties.

はじめに

焼畑農耕とは、樹林・草地の植生を伐採・焼却して耕地を造成し、数年間作物栽培を行ったあと農耕をやめ、長年の休閑期間を置いて植生・地力を回復させ、再度耕地として利用する循環的な農耕である(橋, 1978)。焼畑農耕において、最も特徴的な作業は「火入れ」である。

火入れの機能として、①畑地作りのための開墾・整地の手段、②灰の生成や焼土による肥料効果、③雑草の根絶などが挙げられている(佐々木, 1972; 福井, 1974)。具体的には、火入れ直後、土壌表層は加熱されて窒素・リンなどの土壌養分の可給化が進む傾向にある。それらは植物に吸収され、溶脱あるいは有機態に変化し、可給態養分は急速に減少していく(堤, 1989)とされている。

焼畑農耕は、温帯および熱帯において行われている伝統的な農法の一つである(竹田, 1990)。島根県奥出雲町においても小面積ではあるが、植栽の伐採→火入れ地拵え→赤カブ栽培→ヒノキ・クヌギ・スギ植栽という流れ

1) 島根大学生物資源科学部

2) 横浜国立大学大学院環境情報研究院

の火入れ造林を行っている。目的は火入れ後一年間赤カブを栽培し現金収入を得ることと、植栽後の下刈りの省力化を行うことである(片桐ら, 2006)。これまでに火入れ後の森林の回復過程(片桐ら, 2006; 河合ら, 2009)や火入れによる土壌有機物の動態(河合ら, 2009)・窒素動態(宿ら, 1996; 宿ら, 1997)について研究されているが、火入れ後の土壌の理化学性の変化については研究されていない。

植物が良好に生長していくためには、植物根が土壌中に伸びていく必要があり、そのためには土壌の粒子を押し退けて根が入り込めるすきまをつくる必要がある(根の事典編集委員会, 1998)。しかし、奥出雲の火入れ造林地では火入れ後にカブを栽培するため、表層土壌が攪乱され粗構造が破壊されていると想定される。

本研究では、島根県奥出雲町の造林地において火入れ後の経過年数の異なる林分を対象に、火入れ後の経過年数の違いによる土壌の理化学性の変化を調査した。また、調査地土壌を用いてポット試験を行い、火入れ後の経過年数の異なる林分土壌の理化学性と生産性の関係を考察した。粗構造の有無が植物の生育に及ぼす影響を考察するため、試験では構造あり土壌と粗構造を壊した構造なし土壌を準備し試験を行った。

調査地および研究方法

調査地は島根県仁多郡奥出雲町周辺に点在する火入れ造林地6ヶ所である(図1)。火入れ年度は1994・1998・2004・2006・2008であり、土壌は褐色森林土(S)と黒ボク土(K)に分けられた(以下、各調査地の表記を火入れ年度と土壌の種類分けと合わせて、S15・K11・S11・S5・K3・K1と記述する)。造林地はいずれも斜面に位置し、土壌サンプリングは斜面下部で行った。土壌を斜面下部

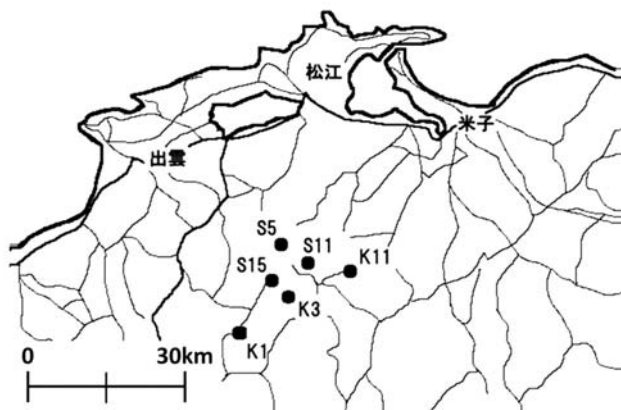


図1. 調査地の概略図

で採取した理由は、斜面上部の表層土壌では火入れ後に植物被覆が失われると同時に、侵食によって斜面下部に移動するため、斜面下部の土壌を採取分析することが望ましいと考えたからである。実際、いくつかの林分では、斜面上部の表層土壌が侵食により失われて下層土や母材が露出している地点があった。火入れ地の斜面下部では、表層土壌や有機物が堆積することによって、土壌物理性の劣化が弱度にとどまる事が報告されている(河合ら, 2010)。このため、火入れ後の経過年数の差は土壌の物理性の変化よりも化学性の変化に、より大きな差が生じる事が予想される。

調査地では土壌断面を掘り、層位ごとに土壌を採取した。三相分布測定用の土壌は土壌断面の横から100ccのコア管を用いて採取した。100ccのコア管で採取後、近傍の土壌を採取し、風乾後2mmのふるいを通し化学分析に供試した。分析は土壌環境分析法(1997)に従って行った。三相分布は、100ccのコア管のサンプルを実容積計にて実容積を測定し、その後105℃で絶乾し、重量を測定した。pHはガラス電極法、交換性陽イオンは1M酢酸アンモニウム抽出後にNa, Kは原子吸光度計(島津製作所A-680), Ca, MgはICP(島津製作所ICPS-2000)にて測定し、可給態リン酸はブレイ2法により抽出し、モリブデン青法で定量、全炭素と全窒素はCNアナライザー(YANACO CN CORDER MT-700)にて乾式燃焼法で測定した。

各調査地にて層位・土壌構造を維持したまま採取した構造あり土壌と、各調査地土壌を風乾し2mmのふるいにかけて土壌構造を壊した構造なし土壌を栽培試験のために準備した。構造なし土壌の結果から土壌の化学性と生産性の関係を考察できると考え、構造あり・なし土壌の試験結果の比較から土壌の物理性(粗構造)の違いによる植物の生産性の違い、つまり粗構造が植物の生育に及ぼす影響を考察できると考えた。また、構造あり土壌は現場の状態の土壌であり、現場土壌の生産性を異なる環境下(水, 光, 温度など)で検証できるユニークな試験方法である。

栽培容器として、塩ビ管(内径15cm)を30cmの長さで切断し、底を低発泡塩ビ板でふさいだ。30cmの高さのうち、土壌は25cmまで充填した。採取方法として、構造あり土壌は、調査地にて筒状にしたアクリル透明板を調査地土壌の表面にあて、その周りを山菜刃等で切り込んでいき、土壌の粗構造を維持したまま採取した。採取後、透明板を筒状のまま塩ビ管ポットに差込み、土壌の粗構造を壊さないように透明板を引き抜き、塩ビ管内壁と土

表1. 調査地土壌分析結果

地点	層位	三相分布			pH		EC (dS m ⁻¹)	全炭素 (g kg ⁻¹)	全窒素 (g kg ⁻¹)	C/N比	無機態窒素		可給態リン酸 ブレイ第2法 (mg kg ⁻¹)	交換性陽イオン			
		固相 (%)	液相 (%)	気相 (%)	(H ₂ O)	(KCl)					NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	NO _x -N* (mg kg ⁻¹)		Ca	Mg	K	Na
S15	A	37.2	31.9	30.9	5.14	4.12	0.06	37.7	2.1	18.0	2.6	1.6	74.92	0.83	0.76	0.39	0.05
	Bt	46.2	31.1	22.7	5.39	4.48	0.02	18.1	1.2	15.1	2.1	1.3	27.32	0.60	0.40	0.08	0.03
	B	42.9	34.3	22.8	5.28	4.20	0.01	4.7	0.6	7.8	2.1	1.3	17.83	1.03	0.41	0.06	0.04
K11	Ap	17.2	22.5	60.3	5.21	4.42	0.06	127.5	7.4	17.2	3.2	1.3	122.83	9.00	2.49	0.42	0.13
	AB	25.3	41.1	33.6	5.30	4.60	0.01	55.2	3.3	16.7	2.4	1.6	43.75	0.31	0.06	0.07	0.04
	A	23.7	41.6	34.8	5.22	4.54	0.02	85.7	4.3	19.9	2.3	1.8	42.03	0.63	0.15	0.09	0.04
	Bb	31.2	45.3	23.6	4.97	4.46	0.02	12.0	1.0	12.0	2.6	1.7	60.50	0.17	0.05	0.05	0.02
S11	A	32.4	20.7	47.0	4.81	3.90	0.03	75.4	4.3	17.5	2.5	1.3	51.36	1.63	0.86	0.27	0.10
	AB	40.1	24.2	35.7	4.86	4.30	0.02	26.3	1.7	15.5	2.2	1.5	39.31	0.12	0.18	0.10	0.03
	Ab	38.9	30.4	30.7	4.88	4.37	0.01	27.3	1.6	17.1	1.8	1.5	44.64	0.15	0.17	0.07	0.04
	BC				5.09	4.26	0.01	3.3	0.5	6.6	2.2	1.4	12.07	0.79	0.57	0.13	0.05
S5	A	31.5	13.9	54.6	5.23	4.21	0.03	22.9	1.5	15.3	2.4	1.4	166.55	7.58	1.99	0.20	0.04
	Bt	52.4	13.2	34.4	5.15	4.07	0.01	7.0	0.7	10.0	2.2	1.3	22.19	0.90	0.34	0.02	0.03
	B	48.4	17.5	34.1	5.51	4.28	0.01	2.0	0.4	5.0	2.2	1.9	22.53	1.23	3.82	0.14	0.03
K3	Ap	27.3	56.2	16.5	5.30	4.38	0.04	126.7	6.8	18.6	2.1	1.7	182.47	12.56	3.28	0.40	0.08
	AB	29.0	58.1	12.9	5.25	4.28	0.02	103.8	4.1	25.3	2.4	1.8	81.77	1.24	0.39	0.12	0.07
	Ab	30.7	57.1	12.2	5.28	4.45	0.01	88.4	4.0	22.1	2.3	1.2	30.92	0.87	0.25	0.11	0.03
K1	Ap	24.8	41.9	33.3	4.62	4.09	0.06	84.5	6.1	13.9	1.5	1.9	280.26	1.58	0.40	0.37	0.04
	A	28.6	47.6	23.9	4.71	4.24	0.02	53.5	3.9	13.7	2.5	1.6	173.43	0.60	0.12	0.15	0.02
	B	35.4	33.0	31.6	4.93	4.36	0.02	17.9	1.6	11.2	2.3	1.2	170.25	0.66	0.08	0.15	0.03

*NO_x-NはNO₃-NとNO₂-Nの総量を表す。

壤の隙間に幅約 5 cm に切ったダンボールを差込み、土壌の粗構造を崩さぬよう持ち帰った。構造なし土壌は、構造あり土壌と同地点の土壌を採取し、風乾後 2 mm のふるいにかけて粗構造を破壊した。2 mm のふるいは土壌の粗構造を壊す操作である。構造なし土壌は構造あり土壌のポットと重量、密度が等しくなるように詰めていた。ポット試験に用いる際に、塩ビ管内壁と土壌の隙間でのバイパスフローをなくすために、隙間に詰めたダンボールを引き抜き、60℃ に加熱した白色ワセリンを流し入れて固め隙間を埋めた。

ポット試験は、栽培が容易で肥料応答性が高いコマツナを供試植物として人工気象室にて行った。水やりは最大容水量 60% 程度になるように行い、すべて無施肥で行った。また、リターの被覆による温度上昇を防ぐため、リターを取り除いて行った。光条件として照射 10 時間、温度条件として 8 時から 18 時まで 25℃ で、18 時から翌日 8 時まで 20℃ に設定した。栽培期間は 2009 年 11 月 25

日から翌年 2010 年 1 月 13 日までの 50 日間である。本報では地上部乾物重の結果しか示さないが、植物生育に関して草丈、地上部・地下部乾物重、葉色を測定した。草丈は、地表から一番大きい葉の先端までとし、間引き後 3 日おきに測定した。地上部・地下部乾物重は、植物体を 60℃ で 24 時間乾燥し、化学天秤を用いて測定した。葉色は、葉緑素計 (SPAD-502) を用いて測定し、3 点の平均値をとった。また、根の伸張に関わる要因として、ポット土壌の圧力抵抗 (土壌硬度) では山中式硬度計を用いて測定し、5 点の平均値をとった。

栽培試験終了後の土壌の理化学分析は行わなかった。

結果および考察

1) 土壌の理化学性の分析結果

表 1 に本研究で採取した土壌の分析結果を示した。土壌の物理性を表す基本的な項目である三相分布について、

S15 と S5 の下層土を除いて固相の割合は 40% よりも小さく全般的に粗い孔隙の多い土壌であった。三層分布は、土壌の種類によって特徴づけられた。黒ボク土では固相の割合が小さく孔隙率が大きく、特に液相の割合が大きかった。褐色森林土では、固相の割合が大きく液相の割合が小さかった。特に S11 では A 層（有機物含有量の多い表層）で気相の割合が大きかった。これは調査地においてササの地下茎が縦横無尽に伸びていたためと考えられた。

次に、土壌の化学性についてである。土壌 pH (H₂O)・pH (KCl) とともに調査地によって大きな差はなかった。調査地全体として一般的な森林土壌の値である pH4.2 (久馬, 1997) よりもやや大きい値を示した。これは火入れによって供給された植物の灰（塩基の供給）による酸の中和効果が関与している可能性がある。全炭素・全窒素は、褐色森林土に比べ黒ボク土の値が高かった。黒ボク土は、母材である火山灰に含まれる非晶質鉱物が腐植や腐植酸などの有機物と結合し難分解化することにより有機物含有量が高くなるのが一般的に知られている。ただし、火入れ直後の K1 の全炭素量は他の黒ボク土 2 地点に比べて小さく、火入れにより有機物の分解が一時的に進み、その影響が残っていることを示している。C/N 比は S5 と K1 で比較的値が小さく、K3 で値が大きかった。C/N 比が低い地点は植物より供給される有機物の分解が比較的進んでいる事、逆に C/N 比が高い地点は分解程度の低い有機物の割合が大きい事を示す。つまり、有機物の量ではなく質を表す指標である。K1 や S5 では、火入れ後の年数は経っておらず、火入れによって土壌中の有機物の分解が進行した影響が残っている事が推察される。火入れは、土壌中窒素の無機化を促進することが知られている。火入れ直後の K1 では、窒素の無機化が促進されると考えられるが、全窒素やアンモニア態窒素と硝酸態窒素を合わせた無機態窒素量は、他の地点と大きな差は見られなかった。以上の結果より、火入れが長期的に土壌の有機物に及ぼす影響は、全窒素、無機態窒素含有量には明確には現れず、また全炭素含有量にも K1 を除いて明確な差は現れていない。しかし、火入れの影響は、C/N 比のような有機物の質を表す指標に現れる事が考えられた。ただし、この C/N 比の変化も、黒ボクでは K3 に示されるように 3 年、褐色森林土では S5 と S11 の間の 5-11 年で、火入れの影響は見られなくなることが示される。火入れが土壌の有機物に及ぼす影響として、C/N 比の違いは有機物の分解に伴う窒素の無機化率に関わる事が知られている。火入れの影響を受けた土壌は、一般的に無

機態窒素の供給能が向上する事が知られており、C/N 比の変化が現れている期間、火入れ造林地土壌の窒素供給能が向上している事が考えられた。この窒素供給能を評価するには、土壌の培養試験による窒素無機化能を測定する必要がある。交換性陽イオンはいずれの元素とも K3 値が高かった。一般的な土壌と同様、交換性塩基は Ca>Mg>K>Na の順で多かった。可給態リン酸はいずれの地点も表層土壌で高く、表層の地点間の差は K1>K3>S5>K11>S15>S11 の順に大きく、黒ボク土と S5 で 120mg P₂O₅kg⁻¹ 以上であった。黒ボク土は、土壌中に含まれる活性 Al がリン酸を固定し、土壌中にリン酸を保持していることが考えられる。そして、火入れ後の経過年数の短い S5・K3・K1 の表層土壌では、火入れにより土壌有機物に保持されていたリン酸の放出によって、火入れ後の経過年数が長い土壌よりも可給態リン酸の値が大きくなったと考えられた。可給態リン酸含有量は、K1 から K3 にかけて大きく減少し、さらに K11 ではさらに小さくなり、火入れ後の年数が経過するにつれ減少することが示された。土壌中の活性 Al や Fe、植物による吸収などが減少の理由であると考えられる。

2) ポット試験結果

図 2 にコマツナの地上部総乾物重を示す。まず、火入れ後の経過年数との関係を考察するために構造なし土壌と構造あり土壌それぞれのコマツナの地上部乾物重を比較する。構造なし土壌のみを比較してみると、K11>K3>K1>S5>S15>S11 の順に地上部乾物重は大きかった。明確な理由は分からなかったが、S11 では構造の有無にかかわらずコマツナがほとんど育たなかったため、以下の考察からは省く。生育が比較的良かった K11・S5・K3・K1 はいずれも可給態リン酸が多い土壌であり、特に K11・K3・K1 は交換性陽イオンや全炭素・全窒素量も多く含ま

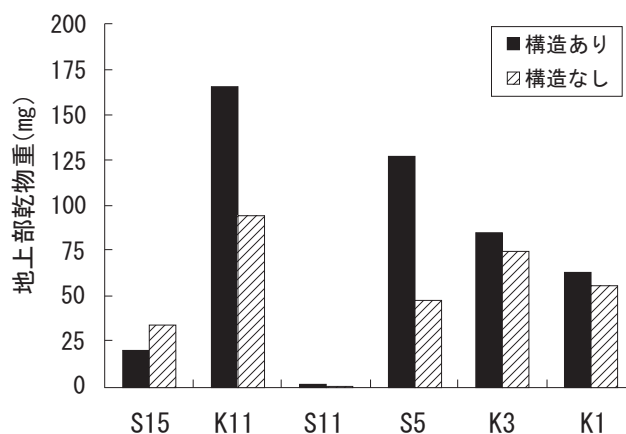


図 2. コマツナの地上部乾物重

れていた。これより植物の生長に大きくかわる NPK の養分含有量が大きく含まれる土壌において、コマツナの生長が良かったと考えられた。しかし、単純に NPK の養分含有量とコマツナの生育が相関していた訳ではなく、他の要因が関わっている事が示唆された。次に構造あり土壌は粗構造を維持しているため、構造なし土壌の条件に加え、物理性と植物の生育（生産性）との関係が考察できると考えられる。構造あり土壌のみを比較してみると、 $K11 > S5 > K3 > K1 > S15$ の順に地上部乾物重は大きく、地点ごとの差は構造なし土壌での地点間の差よりも大きかった。この粗構造の有無による地点間の植物の生育量の違いは、土壌の粗構造が、土壌の化学性、つまり養分含有量などに加えて、植物の生育に影響を及ぼしている事を示している。

次に、各地点での構造なし土壌と構造あり土壌のコマツナの地上部乾物重を比較する。生育が比較的良かった $K11 \cdot S5 \cdot K3 \cdot K1$ のうち、 $K3$ と $K1$ ではほとんど差がみられず、 $K11$ と $S5$ では構造あり土壌の方がコマツナの地上部乾物重は大きかった。 $K3$ と $K1$ では、火入れの時およびその後の赤カブ栽培により土壌構造が攪乱され、構造あり土壌と呼んでいる現場の構造状態でも粗構造は発達していなかったためと考えられた。 $K3$ と $K1$ では、構造なし土壌と構造あり土壌の物理的性質の差がなかったことが示唆された。 $K11$ と $S5$ では、赤カブ栽培後植樹し林分は攪乱されず土壌構造が発達し始めたため、構造なし土壌と構造あり土壌で差が現れたと考えられた。粗構造を有することの利点として、排水・通気性の向上、粗構造内部での水分と養分保持などが考えられるが、これらの効果を確認する実験は今後の課題である。

$S15$ と $S11$ では、他の調査地と比べ、生育が悪かった。これは可給態リン酸が少なかったためと考えられた。加えて、表層にレキや植物根が多く観察され、孔隙 1 つ 1 つが大きいと推察され、保水性が低い事などが影響していると考えられた。

土壌構造と植物の生育・生産性の関係を調べるためには、従前の土壌構造の定義だけではなく、植物の生育に関わる要因に関わる土壌構造のパラメーターを設定して定量的に評価する必要がある。現在、土壌構造の定量的な評価方法およびその方法で評価される土壌構造の植物生育に関わる機能、例えば透水・保水性や養分保持能などについての定量的な評価方法について検討を進めている。

まとめ

島根県奥出雲町の造林地において火入れ後の経過年数の異なる林分を対象に、火入れ後の経過年数の違いによる土壌の理化学性の変化を調査した。また、調査地土壌を用いてポット試験を行い、火入れ後の経過年数の異なる林分土壌の理化学性および土壌粗構造の有無と植物生産性の関係を考察した。

$S15$ と $S5$ の下層土を除いて固相の割合は 40% よりも小さく全般的に粗い孔隙の多い土壌であった。C/N 比は $S5$ と $K1$ で比較的值が小さく、 $K3$ で値が大きかった。可給態リン酸はいずれの地点も表層土壌で高く、表層の地点間の差は $K1 > K3 > S5 > K11 > S15 > S11$ の順に大きく、黒ボク土と $S5$ で $120\text{mgP}_2\text{O}_5\text{kg}^{-1}$ 以上であった。可給態リン酸含有量は、火入れ後の年数が経過するにつれ減少することが示された。

コマツナの栽培試験では、可給態リン酸や交換性陽イオン・全炭素・全窒素量の多い $K11 \cdot S5 \cdot K3 \cdot K1$ で生育が比較的良かった。しかし、単純に NPK の養分含有量とコマツナの生育が相関していた訳ではなく、土壌の粗構造の有無が生育に関わる事が示された。火入れ後の年数経過の比較的大きい $K11$ と $S5$ の構造あり土壌でコマツナの生育が最も大きく、これらは火入れ後の赤カブ栽培で攪乱破壊された土壌構造が再び発達し始めた地点である。以上の結果より、火入れ後の年数経過は、土壌の化学性（土壌肥沃度）に影響を及ぼすだけでなく、粗構造の発達を通して植物の生育に影響することが示唆された。

謝辞

本研究の実施にあたり仁多森林組合の皆様には大変お世話になり、この場を借りまして感謝申し上げます。島根大学森林生態学講座の片桐成夫教授、山下多聞准教授、河合翔馬氏、地域環境工学講座の森也寸志准教授には本研究に関して助言・ご指導いただきました。さらに土壌圏生態工学研究室の皆様には調査にご協力いただきとともに実験指導や数々の助言をしていただきました。重ねて感謝申し上げます。

引用文献

片桐成夫・福田万智子（2006）火入れ造林地における地上部現存量の回復過程について。島根大学生物資源

科学部研究報告 11：11-18

鎌田磨人・中越信和・高橋史樹（1987）焼畑の火入れが埋土種子の発芽に及ぼす影響，日本生態会誌 37：91-100

河合翔馬・山下多聞・片桐成夫（2009）奥出雲町焼畑造林地における火入れ後の地上部バイオマスおよび土壌有機物の動態．島根大学生物資源科学部研究報告 14：39-43

竹田晋也（1990）ビルマにおけるタウンヤ式造林法について．京都大学演習林研究報告 62：108-121

宿聚田・片桐成夫・金子信博・長山泰秀（1996）焼畑にともなう火入れが土壌の窒素動態に与える影響—斜

面地形との関係—．日林誌，78(3)：257-265

宿聚田・片桐成夫・金子信博（1997）火入れ後の森林土壌の無機態Nの動態の短期変化—弱度の火入れの場合—．日林誌，79(1)：37-42

久馬一剛（1997）最新土壌学，朝倉出版，東京

橘礼吉（1994）白山麓の焼畑農耕—その民俗学的生態誌，白水社，東京

堤利夫（1989）森林生態学，朝倉書店，東京

土壌環境分析法編集委員会（1997）土壌環境分析法，博友社，東京

根の事典編集委員会（1988）根の事典，朝倉書店，東京