

## \*焼畑における物質循環

—焼畑初年度における炭素, 窒素, カリウムの変化—

古谷 良\* ・ 米田 令仁\* ・ 二宮 生夫\*

Nutrient cycle in shifting cultivation

— Changes of carbon, nitrogen and potassium  
in the first year of shifting cultivation—

Ryou FURUTANI\*, Reiji YONEDA\* and Ikuo NINOMIYA\*

**Summary :** In order to examine the possibility of sustainable management of shifting cultivation from the viewpoint of nutrient cycling, experimental plot of shifting cultivation was established in school forest of Ehime university. We have collected plant and soil samples from the shifting cultivation plot (SC plot) and control plot before firing, immediately after firing, one month after firing and at the time of crop harvesting. Carbon, nitrogen and potassium were analyzed for each sample. From the result, the accumulation of each element increased in both plots after firing. The amount of newly accumulated carbon in the control plot was bigger than that of SC plot. But opposite tendency was shown on nitrogen and potassium. High accumulation was shown in deeper horizon in control plot, while it was shown in the upper horizon in SC plot. Since the accumulation of elements in the soil was bigger than the absorption by the plant, it was concluded that the shifting cultivation was sustainable at least in the first year.

**要 旨** 焼畑を行うことが、林分の養分動態にどのように影響するのかを、炭素(C)・窒素(N)・カリウム(K)について物質循環の観点から調べ、焼畑が持続可能であるかを検討した。焼畑区(焼畑をおこなった林分)・対照区(焼畑をおこなっていない皆伐跡地)において、伐採前・火入れ直後・火入れ1ヶ月後・各作物の収穫時に、植物体と土壌を採取し、炭素、窒素、カリウムについて分析をおこなった。その結果、植物体と土壌中の炭素の蓄積量は両調査区において火入れ前よりも増加したが、対照区での増加の方が大きかった。窒素は、両者とも火入れ前より増加したが、焼畑区の方が対照区

\* 森林資源生物研究室 Laboratory of Forest Resource Biology

より蓄積の増加量が大きかった。カリウムについては窒素と同じく、焼畑区の方が対照区より蓄積の増加量が大きかった。炭素、窒素、カリウムに関しては、各元素は、焼畑区では土壌表面の近くに蓄積が多いのに対し、対照区では深い所で蓄積が多くなった。今回の焼畑試験では、植物が吸収する量より、土壌に蓄積される量の方が多くなり、初年度においては焼畑が持続可能であると考えられた。

## 1. はじめに

近年、森林の様々な機能が注目され、多様な森林利用の試みがなされている。多様な森林利用の一つとして、森林での持続的な食料生産の確立は、人類にとって大変有意義である。焼畑のようなアグロフォレストリーは、日本のように急峻で国土の大半が森林である国において、その有効性が見直されるべきである。焼畑は、経験的な知識を積み重ねてきた伝統的技法である(佐々木, 1972)。しかし、現実として、このような伝統的技法は失われつつあり、持続的な焼畑を成立させるためには十分な科学的解析が必要である。そこで、焼畑をより有効な森林利用技術として発展させる為に、経験的な知識と共に、森林管理の基礎学である生態学を基にした技術の再編成をはかる必要がある。

これまで行われた研究事例を見てみると、実験焼畑によりその養分の動態を見たものと、現地実査によって養分の動態を見たものに分けられる。前者には、NyeとGreeland (1960;1964), KyumaとPairintra (1983), Jordan (1987)が挙げられ、その対象地域はアフリカ、東南アジア、南米と地域は異なるが、それぞれ独自に焼畑生態系に関する実験区を設けて物質の動きを捉えようとしている点では共通している。現地実査例は北タイでの中野(1981)によるものの他、詳細な土壌のデータが記載されているものは、タイ国ではFunakawaら(1997), Tanakara(1997), 日本では宿ら(1996)が挙げられる。また、Holscher(1997)によって、アマゾン東部で入植者によって100年間行われてきた焼畑の養分収支の研究が行われている。しかし、日本での研究事例は非常に少なく、これからのデータの蓄積は大変意義がある。

日本において焼畑の有効性が高いと考えられるのは、現在、荒廃が叫ばれている、人間に利用されなくなった里山やスギの一斉林などの人工林であり、特に人口もおおく消費地に近い都市近郊の人工林は焼畑の有効性が高いと考えられる。そこで、本研究では、都市近郊の人工林において、実験焼畑を実施し、焼畑が森林の養分動態にどのような影響を与えるのか検討した。

## 2. 調査地の概況と実験の方法

### 2-1. 調査地について

本研究は、愛媛大学農学部附属演習林でおこなった。当演習林は、愛媛県松山市大井野町の標高515~1216mの範囲にある。基岩のほとんどが花崗岩で、土壌は褐色森林土で構成される。平均気温は12.3℃で、最高気温は38.0℃、最低気温-12.3℃、年降水量1863mmである。演習林は、暖温帯上部から冷温帯中部に広がっており、森林帯もこれに対応する樹種、群落から構成される(愛媛大学農学部附属演習林の概要, 1997)。

調査地を1999年2月に当演習林の2林班へ小班の50~60年生のスギの一斉林内に設定した。調査区の面積は約3アールで、調査区内に出現したスギすべてについて毎木調査をおこない、胸高直径(DBH)、樹高、立木本数を調べた。1999年の2月から3月にかけて調査区内のスギを皆伐し、材を

搬出した。その後、残った枝葉を集めてプロット (a) 内に敷き詰め、放置して乾燥させた後、火入れ1週間前にテンチガエシを行った。なお、伐採前の林分には、A<sub>0</sub>層がほとんど見られなかった。1999年5月8日に火入れを行い、翌日ソバ・ダイズ・アズキ・ハウレンソウ・トウモロコシの種子を播種した。同年7月31日にソバ・ハウレンソウを、8月31日にトウモロコシを、10月6日にアズキ・ダイズを収穫した (図1)。

火入れを行った土地を焼畑区として設定し、この調査区の北側の火入れをおこなっていないスギの皆伐跡地に対照区を設定した (図2)。

## 2-2. 現存量の測定

伐倒前のスギ林の現存量を推定する為に、調査区の中から無作為に5本選び調査木とした。各調査木ごとに、枝と葉に分け、バネばかりを用いて全ての生重を測定した。その後、一部を実験室に持ち帰り、生重を電子天秤で測定した後、80℃で1週間乾燥し乾重を測定した。こうして得られる生重に対する乾重の割合を基に、各調査木一本がもつ全ての枝葉の乾重を求めた。

調査木の幹についても相対成長式を用いて各調査木の材積を求め、この材積に80℃で乾燥させたときのスギの幹の密度をかけて幹の乾重 ( $W_s$ ) を求めた((1), (2)式)。

$$V = 0.000137D^{2.45} \quad (R^2 = 1.000) \quad (1)$$

$$W_s = V\rho \quad (2)$$

$V$  : 固体当たりの幹材積 [ $m^3/tree$ ]

$D$  : DBH [cm]

$\rho$  : スギの幹の密度 [ $kg/m^3$ ]

収穫時における地上部の現存量については、それぞれの作物の作付け場所に上下2ヶ所ずつ1m×1mのコドラートを設定し、コドラート内の植物体を全て採



図1 各時点における焼畑地の写真  
(a)火入れ風景 (b)火入れ直後 (c)4ヶ月後

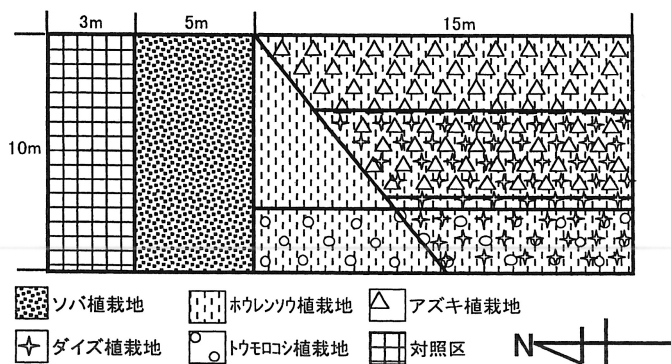


図2 調査地

取し、収穫部、作物の地上部、作物の根、雑草の地上部、雑草の根に分けて、80℃で乾燥させ乾重を測定した。

### 2-3. 炭素、窒素、カリウムの分析

分析用サンプルの採取は、植物体については伐採前にスギの葉、枝、幹、根に分けておこない、収穫時には収穫部、作物の地上部と根、雑草の地上部と根に分けて行なった。A<sub>0</sub>層を含む土壤については、調査区から5ヶ所、対照区から3ヶ所、サンプルを採取した。なお、土壤の採取法については、土壤断面を作り、深さごとに0~5cm、5~10cm、10~20cm、20~30cmで、容量400mlの採土円筒を用いてサンプルを採取した(河田・小島, 1976)。A<sub>0</sub>層については30cm×30cmのコドラートをつくり、コドラート内のA<sub>0</sub>層をすべて採取した。土壤サンプル採取は、火入れ前(5月7日)、火入れ直後(5月9日)、火入れ一ヶ月後(6月8日)、ソバ収穫時(7月31日、3ヶ月後)、アズキ収穫時(10月31日、6ヶ月後)に焼畑区、対照区の両調査区においておこなった。以下、サンプリングをおこなった日付を、火入れ前、火入れ直後、火入れ一ヶ月後、収穫時(3ヶ月後)、6ヶ月後とする。

採取したサンプルは、植物体とA<sub>0</sub>層の場合80℃に設定したオーブンに48時間入れて乾燥させた後、瑪瑙の乳鉢と乳棒を用いた粉砕機で粉砕し、土壤については1週間以上風乾させたものを、乳鉢と乳棒で圧砕し、210 $\mu$ mの目の篩にかけて分析用のサンプルを得た。また、採取した土壤の中に含まれる分析用のサンプル量を求め、調査区、対照区それぞれで平均を出して、1ヘクタール当たりの細土の量を推定した。これらから得られた乾重と、後述する炭素・窒素・カリウムの濃度から各元素のヘクタール当たりの重量を求めた。

炭素・窒素の含有量の測定において、植物体とA<sub>0</sub>層については分析用サンプルを20mg、土壤については分析用サンプルを100mg秤量し、乾式燃焼法・高感度N.C-ANALYZER(SUMIGRAPH. NC-80)を用いて定量分析をおこなった。植物体とA<sub>0</sub>層からのカリウムの抽出は、50mlの三角フラスコにサンプル400mg、硝酸4ml及び過塩素酸4mlを入れ、350℃に設定したサンドバスに透明になるまでかけて抽出した。その抽出液をメスフラスコで50mlに希釈した。土壤からのカリウムの抽出は、サンプル5gに1規定の酢酸アンモニウム溶液25mlを加え30分間振とうした後、遠心分離機に回転速度32×100rpmで10分間かけた。そうして得られた上澄み液を4mlとり、メスフラスコで50mlに希釈した。このようにして得られた溶液を、原子吸光分光光度計(SHIMADZU. AA-630-02)を用いて定量した(金野, 1997)。

### 2-4. 炭素、窒素、カリウムの蓄積量の推定

伐倒前のスギ林の炭素、窒素、カリウムの蓄積量を推定する為に、5本の調査木について葉、枝、幹の現存量と、分析から各器官の炭素、窒素、カリウムの濃度を求め、各調査木の器官ごとの元素蓄積量を求めた。5本の調査木のDBHと葉中の炭素の蓄積量から(3)式、窒素の蓄積量から(4)式、カリウムの蓄積量から(5)式を求めた。

$$W_{1c} = 0.0865D^{1.16} \quad (R^2 = 0.9832) \quad (3)$$

$$W_{1n} = 0.003D^{1.08} \quad (R^2 = 0.9681) \quad (4)$$

$$W_{1k} = 0.0005D^{1.09} \quad (R^2 = 0.9684) \quad (5)$$

$W_{1c}$  : 一個体当たりの葉中の炭素蓄積量 [kg/tree]

$W_{1n}$  : 一個体当たりの葉中の窒素蓄積量 [kg/tree]

$W_{1k}$  : 一個体当たりの葉中のカリウム蓄積量 [kg/tree]

$D$  : DBH [cm]

同様に、枝についてもDBHと枝中の各元素の蓄積量から(6)式から(8)式を求めた。

$$W_{bc} = 0.0116D^{1.85} \quad (R^2 = 0.9737) \quad (6)$$

$$W_{bn} = 0.0001D^{1.76} \quad (R^2 = 0.9843) \quad (7)$$

$$W_{bk} = 0.00004D^{1.68} \quad (R^2 = 0.9847) \quad (8)$$

$W_{bc}$  : 一個体当たりの枝中の炭素蓄積量 [kg/tree]

$W_{bn}$  : 一個体当たりの枝中の窒素蓄積量 [kg/tree]

$W_{bk}$  : 一個体当たりの枝中のカリウム蓄積量 [kg/tree]

$D$  : DBH [cm]

幹についても同様に、以下(9)式から(11)式を求めた。

$$W_{sc} = 0.0184D^{2.49} \quad (R^2 = 1.0000) \quad (9)$$

$$W_{sn} = 0.00007D^{2.42} \quad (R^2 = 0.9947) \quad (10)$$

$$W_{sk} = 0.00005D^{2.23} \quad (R^2 = 0.9960) \quad (11)$$

$W_{sc}$  : 一個体当たりの幹中の炭素蓄積量 [kg/tree]

$W_{sn}$  : 一個体当たりの幹中の窒素蓄積量 [kg/tree]

$W_{sk}$  : 一個体当たりの幹中のカリウム蓄積量 [kg/tree]

$D$  : DBH [cm]

以上の(3)から(11)の式と毎木調査の結果を基に、調査区内のスギのDBHから調査区内全体の葉と枝、幹の各元素の蓄積量をそれぞれ求め、ヘクタール当たりに換算した。

収穫時には、コドラート内の植物体の収穫部、作物の地上部、作物の根、雑草の地上部、雑草の根の各部位の現存量と分析によって得られた各元素の濃度から、コドラート内の各元素の蓄積量を推定し、これを1ヘクタール当たりに換算した。

### 3. 結 果

本報告では対照区と地形も近く、お互いの距離も近いソバ植栽地の結果と対照区の結果を比較し、それぞれの違いについて述べる。

#### 3-1. 炭素

焼畑区の伐採前の林分は、A<sub>0</sub>層を含めた地上部に200.81 t/haの炭素の蓄積があり、伐採・搬出で幹の180.74 t/haの炭素が林外に持ち出された。枝・葉の19.25 t/haとA<sub>0</sub>層の0.82 t/haの炭素が林内に残され、火入れの燃料になった。ソバの収穫時において、植物体に1.20 t/haの炭素が蓄積されていた。しかし、収穫は地上部を刈り取り、林外に持ち出すので、0.53 t/haの炭素が持ち出され、残り0.67 t/haが、植物体として蓄積された量となった(図3)。

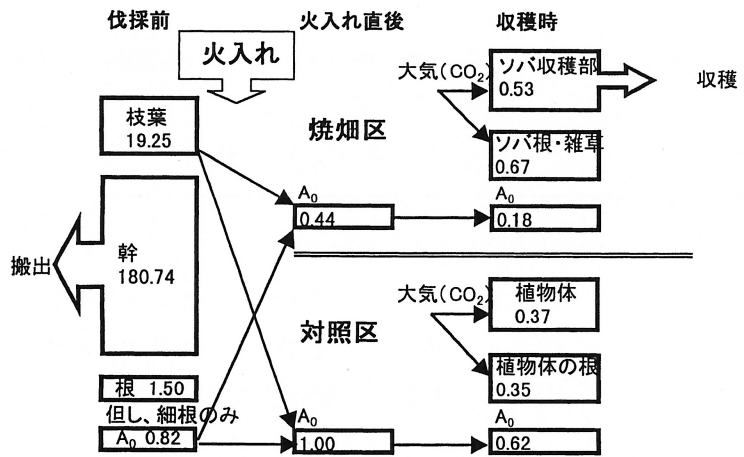


図3 植物体の炭素蓄積の変化 (単位は t/ha)

土壌についての測定結果を、表1、図4に表す。焼畑区ではA<sub>0</sub>層の炭素の蓄積量は、火入れ前には枝葉(19.25 t/ha)とA<sub>0</sub>層(0.82 t/ha)をあわせた20.07 t/haであったが、火入れによって、灰や炭として0.44 t/haになった。表層から5 cmまでは、火入れ直後にほとんど蓄積量の変化はなかった。

表1 土壌中の炭素蓄積量の変化

深さ (cm)	火入れ前	火入れ直後	1ヶ月後	収穫時
焼畑区 A <sub>0</sub>	0.82	0.44	0.04	0.18
0-5	7.14	7.61	6.65	10.06
5-10	5.91	5.03	4.56	5.44
10-20	9.54	6.75	6.91	8.07
20-30	6.88	6.38	6.54	6.70
Total 0-30	29.47	25.77	24.66	30.27
対照区 A <sub>0</sub>	0.87	1.00	0.91	0.62
0-5	4.38	4.90	4.51	3.78
5-10	2.62	2.08	2.81	3.19
10-20	3.70	3.69	2.52	5.59
20-30	1.57	1.86	1.24	3.12
Total 0-30	12.26	12.53	11.09	15.68

(単位: t/ha)

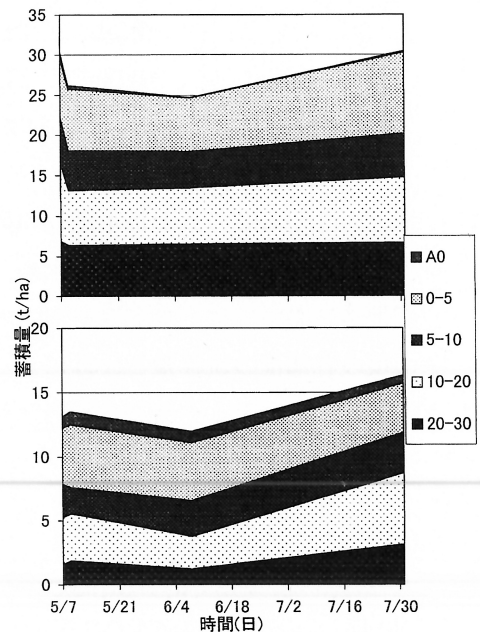


図4 土壌中の炭素蓄積量の経時変化

しかし、5 cm以下では、大幅に減少した。火入れ直後から火入れ1ヶ月後にかけては、表面から10cmにかけて、炭素蓄積は減少した。特に5 cmまでの減少が大きかった。火入れ1ヶ月後から3ヶ月後にかけて、土壌中の炭素の蓄積量は大幅に増加した。特に上層部での増加が多く、深くなるにつれて増加量は減少した。火入れ前と収穫時で比較してみると、炭素蓄積量にほとんど変化はなかったが、深さ別に見ると0～5 cmでは1.41倍に増えたが、それより深い所では減少していた。土壌0～30cm中の炭素の全蓄積量は、火入れ時から6月8日頃まで減少し、その後、収穫時には増加した(図4)。

それと比較して、対照区では焼畑区で火入れをおこなった5月8日においては下層植生は無く、A<sub>0</sub>層に1.00 t/haの蓄積があったが、6ヶ月後には植物が侵入し、0.62 t/haの炭素が蓄積された(図3)。土壌では、伐採・搬出をおこなった2～3月から火入れを行った日までの間に、伐採時には、枝葉とA<sub>0</sub>層をあわせて20.12 t/haの炭素蓄積があったが、火入れをおこなった日には、1.00 t/haまで減少していた。土壌では、火入れ1ヶ月後から火入れ3ヶ月後には、0～5 cmの表層で炭素蓄積は減少したが、5 cm以下の深部では、大幅に増加した(図4)。火入れ前と火入れ3ヶ月後で比較してみると、0～5 cmの表層部で、炭素蓄積量が減少した。しかし、5 cm以下の深部では増加していたので、全体でみても炭素蓄積は増加していた(図4)。土壌0～30cm中の炭素の全蓄積量は、対照区において、火入れをおこなった時期までは増加したが、1ヶ月たった6月8日では減少し、その後増加した。

### 3-2. 窒素

伐採前の林分は、A<sub>0</sub>層を含めた地上部に0.828 t/haの窒素の蓄積があり、伐採・搬出で0.543 t/haの窒素が林外に持ち出された。林内には、枝・葉の0.274 t/haとA<sub>0</sub>層の0.011 t/haの窒素が火入れ前に残された。収穫時のソバの植物体に、0.035 t/haの窒素が蓄積されたが、根を残して地上部は刈り取り、林外に持ち出されたので、0.017 t/haの窒素が持ち出され、残り0.018 t/haが地下部に残された(図5)。

土壌についての測定結果を、表2、図6に表す。焼畑区ではA<sub>0</sub>層の窒素の蓄積量は、火入れ前には、枝葉とA<sub>0</sub>層をあわせて0.285 t/haであったが、火入れによって灰や炭として0.025 t/haになった。土壌では火入れにより、各層で窒素の蓄積量は減少し、その後増加した。ただし、深部と浅部では増加量に差が見られ、上層の増加量が多く、下層では少なかった。土壌0～30cm中の窒素の全蓄積量は、火入れ時に減少するが、その後増加し火入れ前の蓄積量を上回った(図6)。

それに対し対照区では、焼畑区で火入れをおこなった5月8日においては下層植生は無く、A<sub>0</sub>層に0.014 t/haの蓄積があったが、6ヶ月後には植物が侵入し、0.021 t/haの窒素が蓄積された(図

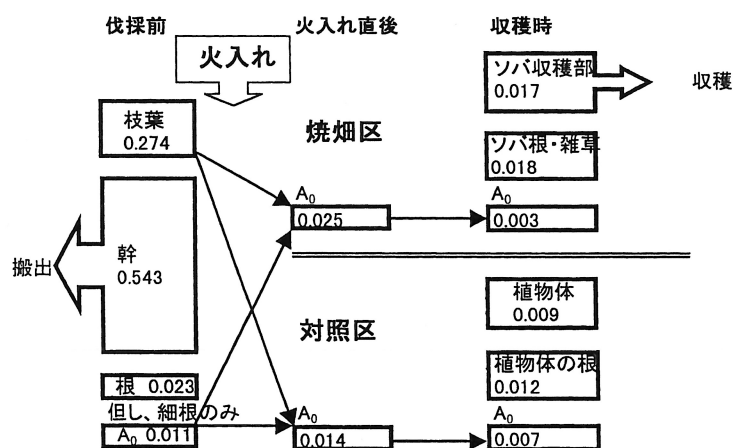


図5 植物体の窒素蓄積の変化 (単位は t/ha)

表2 土壌中の窒素蓄積量の変化

深さ (cm)	火入れ前	火入れ直後	1ヶ月後	収穫時
焼畑区 A <sub>0</sub>	11.15	24.54	2.39	3.16
0-5	491.99	489.77	468.61	1105.83
5-10	424.61	345.90	351.67	457.93
10-20	789.11	560.43	600.73	722.59
20-30	606.53	527.24	603.58	1156.31
Total 0-30	2312.24	1923.35	2024.59	3442.65
対照区 A <sub>0</sub>	10.67	13.72	9.51	7.21
0-5	285.77	283.73	234.26	220.38
5-10	209.06	235.80	174.45	200.72
10-20	263.35	250.47	272.57	373.96
20-30	134.60	138.38	105.93	265.57
Total 0-30	892.78	908.37	787.21	1060.64

(単位: kg/ha)

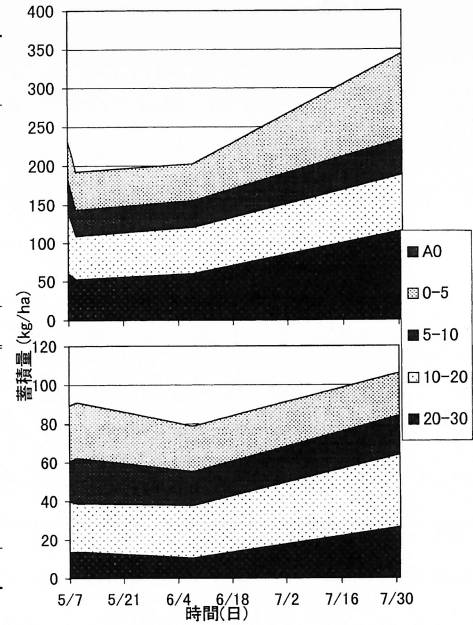


図6 土壌中の窒素蓄積量の経時変化

5)。伐採時に、枝葉とA<sub>0</sub>層をあわせた0.285 t/haが、火入れを行った日には、0.014 t/haまで減少していた。土壌では5月7日から7月31日までの間に、表層で窒素の蓄積量が減ったが、深層での蓄積量が増加した(図6)。土壌0~30cm中の窒素の全蓄積量は、焼畑区に比べて、ほとんど変化は見られなかった(図6)。

### 3-3. カリウム

調査区の伐採前の林分には、A<sub>0</sub>層を含めた地上部に274.80 kg/haのカリウムの蓄積があり、伐採・搬出で216.09 kg/haのカリウムが林外に持ち出されたことになる。そして、枝・葉の57.81 kg/haとA<sub>0</sub>層の0.90 kg/haのカリウムが林内に残された。収穫時において、ソバの植物体においては、14.78 kg/haのカリウムが蓄積された。しかし、根を残して地上部は刈り取り林外に持ち出されたことから、6.33 kg/haのカリウムが持ち出され、

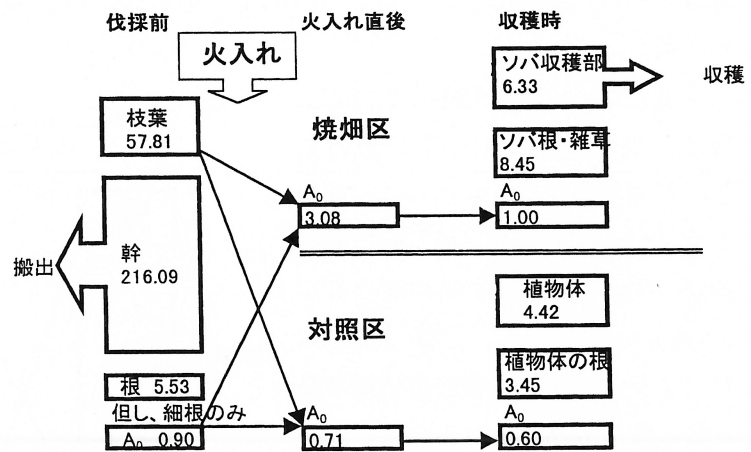


図7 植物体のカリウム蓄積の変化(単位は kg/ha)

残りの8.45 kg/haが植物体として林内に残された量となった(図7)。

土壌についての測定結果を、表3、図8に表す。焼畑区では、A<sub>0</sub>層のカリウムの蓄積量は、火入れ前には、枝葉とA<sub>0</sub>層をあわせた58.71 kg/haであったが火入れによって灰や炭として3.08 kg/haになった。土壌では、火入れ前と火入れ後を比べると0~20cmで蓄積量が増加した。その後、火入れ後1ヶ月で全層で蓄積量が減少したが、収穫時まで蓄積量は増加した。火入れ前と収穫時で比較し



てみると火入れ前より蓄積が増加した（図8）。土壌0～30cm中のカリウムの全蓄積量は、火入れをおこなった時期までは増加したが、1ヶ月後の6月8日では減少し、その後増加した（図8）。

これと比較して対照区では、火入れ6ヶ月後までに対照区に侵入してきた植物体内に7.87 kg/haのカリウムが蓄積された（図7）。伐採時にあった、枝葉とA<sub>0</sub>層をあわせた58.71 kg/haのカリウムの蓄積が、5月9日には0.71kg/haに減少した。土壌では火入れの時期から後の1ヶ月で上層部のカリウムの蓄積量が増えた。その後、上層部を中心に、蓄積量が減少した。結果、火入れの時期から収穫期までの3ヶ月を比較すると、上層部で蓄積は減少し、下層部の蓄積は増加した（図8）。土壌0～30cm中のカリウムの全蓄積量は、収穫時まで増加し続けた（図8）。

表3 土壌中のカリウム蓄積量の変化

	深さ (cm)	火入れ前	火入れ直後	1ヶ月後	収穫時
焼畑区	A <sub>0</sub>	0.90	3.08	0.07	1.00
	0-5	18.22	25.58	16.31	30.26
	5-10	13.04	13.11	11.41	21.97
	10-20	19.09	21.53	17.73	27.94
	20-30	19.01	18.66	13.77	15.66
	Total 0-30	69.36	78.87	59.22	95.84
対照区	A <sub>0</sub>	0.90	0.71	0.86	0.44
	0-5	21.51	15.51	19.25	14.09
	5-10	17.33	14.65	17.24	16.38
	10-20	25.90	25.55	30.96	32.24
	20-30	14.03	21.86	22.59	33.34
	Total 0-30	78.76	77.57	90.05	96.04

(単位：kg/ha)

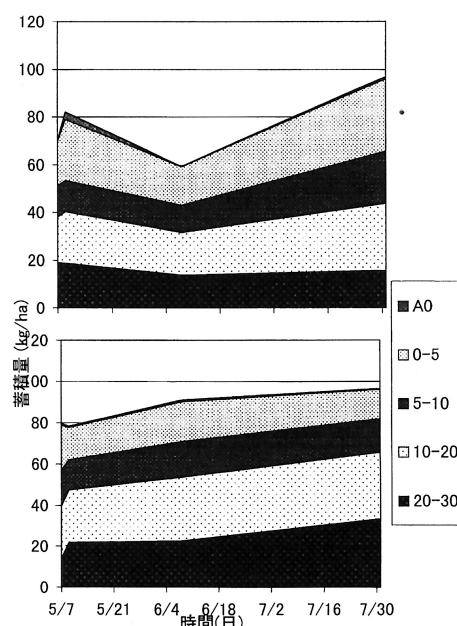


図8 土壌中のカリウム蓄積量の経時変化

#### 4. 考 察

炭素については、焼畑区において、火入れによる枝葉とA<sub>0</sub>層中の炭素は、大幅に減少した。この理由としては、枝葉とA<sub>0</sub>層中の炭素が火入れをおこなうことにより、二酸化炭素として大気中に放出されたり、無機化して土壌中に入ったり、灰となって大気中に舞い上げられ、調査区外に出たりしたものと考えられた。また、火入れの影響については、火入れによる地温の変化に関する報告が数多くされており、表層から2 cm付近までは、数百℃に及ぶが、それより深い所では50℃前後になると言われている（福井，1974；鎌田ほか，1987；高橋・菊池，1987）。このことから、焼畑区において、火入れ直後に土壌の5～30cmで炭素の蓄積量が減少したのは、表層以下の土壌において、土壌微生物の活動が活発化して、土壌呼吸量が増えたためと考えられた。0～5 cmで減らないのは地上部の炭素が無機化して入ってくるためと考えられる。

対照区で図4に示されたように、火入れ後1ヶ月を過ぎたあたりから、表層で蓄積量の減少が起こった理由として2つのことが考えられる。第一に、火入れをおこなわないので、伐採時に出た枝葉が地

表面を被覆し、伐採当初は流出を抑え炭素の減少が見られないが、時間と共に枝葉が流され地表面が露出したと考えられた。第二に、焼畑区で、火入れから3ヶ月間の間に進入した植生と作物を合わせた現存量が、1.21t/haであったのに対し、対照区では、6ヶ月間で0.72t/haと、被覆されていたことにより植生の回復が遅れたため、表面で流出・溶脱が起こったと考えられた。

窒素については、焼畑区で火入れによって、枝葉とA<sub>0</sub>層中の窒素が大幅に減少した。この理由としては、炭素と同様に、植物体内の窒素が無機化して土壌中に入ったり、灰となって大気中に舞い上げられ、調査区外に出たりしたものと考えられた。土壌の脱窒作用については、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>を酸化してNO<sub>2</sub><sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>に変化した後、嫌気状態で脱窒菌による脱窒や光合成細菌が、水溶液中に溶存する窒素化合物窒素を空气中に放出することは、一般的に知られている(小林, 1984)。このことから、火入れ直後に焼畑区で、土壌中の窒素蓄積量が土壌の0~30cmで、窒素が大幅に減少するのは火入れによって、土壌で土壌呼吸の増加や熱でNH<sub>4</sub><sup>+</sup>の酸化が進み、一時的に嫌気状態となり、脱窒菌や光合成細菌の働きにより、大気中に窒素が放出されたと考えられた。また、火入れ1ヶ月後まで、蓄積量が表層で減少したのは、伐採・火入れにより地表面を被覆するものがなくなり、表層の方で窒素が流出した為と考えられた。その後、土壌、特に0~5cmで蓄積量が増加したのは、植生(作物を含めた)の回復に伴い乾燥や流出が抑えられ、流出量が減り蓄積の方向へ向かった為と考えられた。火入れ後、0~5cmで減らないのは地上部に含まれた窒素が灰となって、土壌の空隙に入ってくるためと考えられた。

それに対して、対照区では、土壌の表層部で蓄積量が経時的に減少し、深部で蓄積量が増加した原因として、伐採時に出た枝葉が地表面を被覆しているため、伐採当初は流出が少ないが、時間と共に枝葉が流され地表面が露出し、また、調査区に比べ植生の回復が遅いので表面の方で流出がしだいに大きくなり、表面の窒素が深い部分に移動し、深い部分で蓄積が大きくなったと考えられた。

カリウムについては、焼畑区において、火入れによる枝葉・A<sub>0</sub>層中のカリウムが大幅に減少した。この理由としては灰や土壌水に溶けて土壌中に入ったり、灰となって大気中に舞い上げられ、調査区外に出たりしたものと考えられた。火入れによって土壌中のカリウムが0~5cmの深さで増加したのは、火入れによって地上部の植物体やA<sub>0</sub>層に含まれていたカリウムが土壌に入るということを示していると考えられた。火入れ直後に、伐採・火入れによって生じる灰によって、表層の方で一時的にカリウムが増加するが、その後、火入れ後1ヶ月までは徐々にカリウムの蓄積量は減少したが、1ヶ月を過ぎると収穫時まで蓄積の増加が見られた。降雨中に含まれるカリウムは2.4~7.7kg/ha·yr(河田, 1988)で中間流中に含まれるカリウムは2.1~32.2 kg/ha·yr(有光, 1982)と報告されており、このことから、この結果が得られたのは、調査区外から流入したカリウムが、植生(作物を含めた)の回復に伴って流出が抑えられ(図7)、カリウムが蓄積されたと考えられた。降雨量(図9)の多い5月から6月にかけては、降雨中に含まれるカリウムが土壌に付加される為に、地表面の方で蓄積が起こったと考えられた。そして、降雨量が減る10月までは下方への浸透が増えるので、地表面の方では流出が起こり、深い所で蓄積が起こると考えられた。これらから考えるとカリウムの動きに最も大きな影響を与えているのは、降雨であると考えられた。

火入れ前の土壌0~30cm全体で蓄積されている養分を1とすると、火入れ、作物の栽培を経て、収穫時には、炭素で対照区が1.28、焼畑区では1.03と共に以前よりも増え、対照区での増加の割合が高かった。窒素については対照区で1.19、焼畑区では1.49とやはり火入れ前より増加しているが、炭素と異なり焼畑区の方が蓄積速度は速かった。カリウムについては対照区で1.12、焼畑区では1.38と

やはり焼畑区、対照区ともに火入れ前より増加しているが、窒素と同じく焼畑区の方が蓄積速度は速かった。

土壌中 0～30cmでは、炭素・窒素・カリウムの3元素とも、焼畑区、対照区の両方で増加するが、これを深さごとに見てみると図10のようになる。これを見ると対照区では、3元素ともに表面から流出するが土壌下部で蓄積される。それに対し、焼畑区では表面の方で増加し、底の方

で流出が起こっている。この理由として次の2つのことが考えられる。1つ目は、pH6であった土壌が、火入れによって土壌表層でpH7以上に上昇した(図11)。このpHの変化により、硝酸化成菌や窒素固定菌の活動が活発化し窒素の蓄積の増加引き起こすと共に、陽イオン交換基がほぼ $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ で飽和されたために、カリウム、カルシウム、マグネシウムが土壌表層で保持されたためと考えられた。一般的に土壌溶液のpHの低下は土壌細菌への影響が大きく、pHの低下と共に土壌細菌の活動が阻害されると言われている。特に硝酸化成菌や窒素固定菌が低pHの影響を受けやすい。また土壌pHが7ないしそれ以上の土壌では、陽イオン交換基はほぼ $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ で飽和されており、これらの土壌溶液における濃度も高いということがいわれている(久馬, 1997)。2つ目は焼畑区で、火入れから3ヶ月間の間に侵入した植生の現存量(乾重)が、3.31 t/haであったのに対し、対照区では、6ヶ月間で1.70 t/haと、焼畑地の方が植生の回復が速かった。しかも、植物体の中で根に含まれる炭素の量の割合を見てみると、焼畑地では56%であったのに対し対照区では48%であった。つまり焼畑地では特に根系の育ちがよかった。これにより、地表からの養分の流出を抑えることができたのではないかと考えられた。

火入れを行うことにより土壌中の炭素、窒素、カリウムは主に地表近くで増加した。これによって植物の生長が促進され、また、植物の生長が促進されることにより養分の流出が抑えられた。このようにして、効果的に林分内に養分

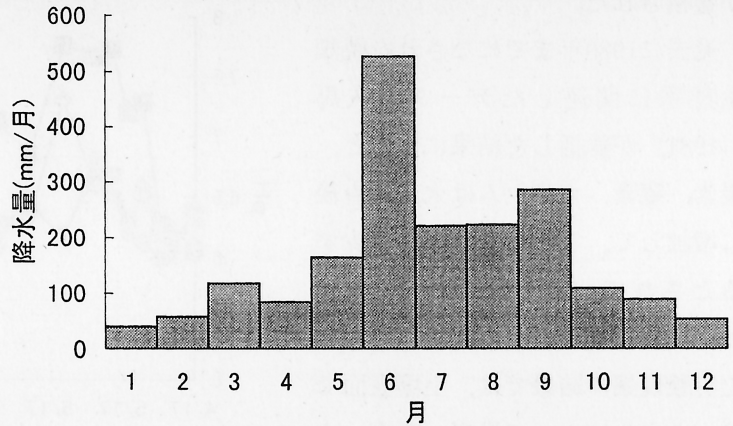


図9 1999年、調査地の月間降水量

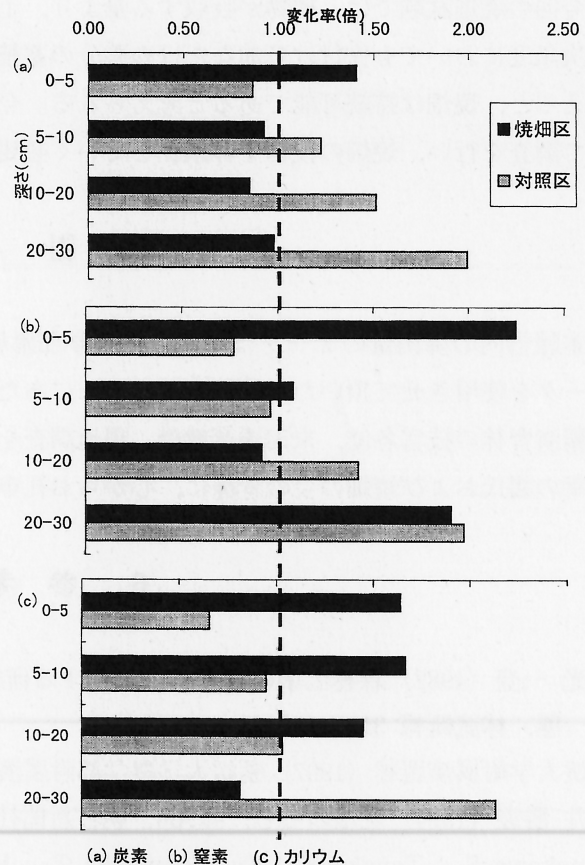


図10 火入れ前から収穫時まで土壌中の養分の変化量

(a)炭素 (b)窒素 (c)カリウム

が蓄積された。

過去に1980年までになされた焼畑生態系に関連したデータを久馬(1981)が総括した結果によると、炭素、窒素、カリウムは火入れ直後に増加して、1年目で急激に減少するとされている。また、KyumaとPairintra(1983)がタイ国でおこなった実験焼畑の結果では、土壌表面では、火入れによって炭素、窒素、カリウムともに増加が見られた。それに対し、今回の焼畑試験では、カリ

ウムは火入れによって増加したが、炭素と窒素については、火入れ直後に減少した。そして、炭素、窒素、カリウムともに3ヶ月後には、火入れ前より蓄積量が増加した。このように、結果が異なったのは温帯と熱帯の環境の違いや試験地の地形の違い、あるいは、火入れの方法が異なる為と考えられる。

今回の焼畑試験では、植物が吸収する量より、土壌に蓄積される量の方が多いので、土壌には十分に次年度においても作付け可能なだけの養分の蓄積があると考えられる。ゆえに、焼畑初年度だけで考えると、焼畑は持続可能であると考えられる。今後、これらのことをふまえて、継続的に焼畑について調査を行い、焼畑の技術を体系化していく必要がある。

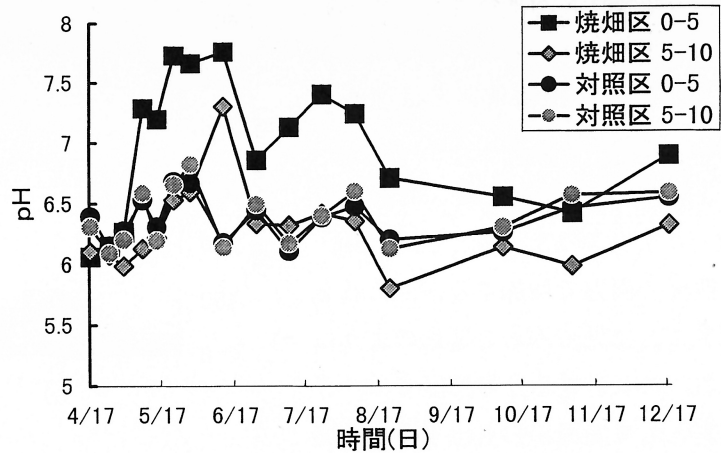


図11 土壌pHの経時変化 (焼畑の会, 1999)

## 5. 謝 辞

本報告内の降雨量のデータは愛媛大学農学部附属演習林米野々研究センターで記録している気象データを使用させて頂いた。焼畑をおこなうにあたって、便宜をはかっていただいた愛媛大学農学部附属演習林の技官各位、末田達彦教授、現地調査を手伝っていただいた七目木修一、内藤夕鼓、山本宗幸の諸氏および焼畑の会の皆様に、心からお礼申し上げます。

## 6. 参 考 文 献

有光 一登 (1982) 森林土壌の水分動態に関する研究. 第二報・森林土壌の水分および溶存成分の動態. 林試研報 318: 11-78.

愛媛大学附属演習林 (1997) 愛媛大学農学部附属演習林の概要

福井 勝義 (1974) 焼畑のむら. 419pp, 朝日新聞社, 東京.

Funakawa, S., Tanaka, S., Kaewkhongkha, T., Hattori, T., and Yonebayashi, K. (1997) Physico-chemical properties of the soils associated with shifting cultivation in northern Thailand with special reference to factors determining soil fertility. *Soil Sci. Plant Nutr.* 43: 665-679.

Funakawa, S., Tanaka, S., Sinjyo, H., Kaewkhongkha, T., Hattori, T., and Yonebayashi, K. (1997) Ecological study on the dynamics of soil organic matter and its related properties in

- shifting cultivation systems of northern Thailand. *Soil Sci. Plant Nuter.* 43 : 681–693.
- Holscher, D., Moller, R.F., Denich, M., Folster, H (1997) Nutrient input-output budget of shifting agriculture in Eastern Amazonia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 47 : 49–57.
- Jordan, C.F. (1987) Shifting cultivation. Case study No.1 Slash and burn agriculture near San Carlos de Rio Negro, Venezuela. In *Amazonian Rain Forest. Ecosystem disturbance and recovery.* Jordan, C.F. (eds.) 60 : 9–23.
- 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. *日生態会誌* 37 : 91–100.
- 河田 弘・小島 俊郎 (1976) 環境測定法IV－森林土壌－. 166pp, 共立出版, 東京.
- 河田 弘 (1988) 森林土壌学概論. 399pp, 博友社, 東京.
- 金野 隆光 (土壌環境分析法編集委員会) (1997) 土壌環境分析法. 427pp, 博友社, 東京.
- 小林 達治 (1984) 土壌の生物・土壌学. (村山 登, 山根 一郎, 松田 敬一郎編) 266pp, 文永堂出版, 東京.
- 久馬 一剛 (1981) 焼畑における土壌問題, 海外学術調査に関する総合調査研究班: 海外学術調査コロキウム「焼畑 生態学的アプローチ」記録: 73–87
- Kyuma, K. and Pairintra, C. (1983) Shifting cultivation. An experiment at Nam Phrom, North Thailand, and its implications for upland farming in the monsoon tropic : 219pp., Kyoto University, Japan.
- 久馬 一剛 (1997) 最新土壌学. 216pp, 朝倉書店, 東京.
- 中野 和敬 (1981) 北タイにおける焼畑. 事例研究, 海外学術調査に関する総合調査研究班: 海外学術調査コロキウム「焼畑－生態学的アプローチ」記録: 88–98.
- Nye, P.H. and Greenland, D.J. (1960) The soil under shifting cultivation. *CBS Tech Commun.* No. 51 Harpenden
- Nye, P.H. and Greenland, D.J. (1964) Changes in the soil after clearing tropical forest. *Plant and Soil* : 101–112.
- 佐々木 高明 (1972) 日本の焼畑. 457pp, 古今書院, 東京.
- 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 : 257–265.
- 高橋 麻弥子・菊池 多賀夫 (1987) コナラ林・スギ林の燃料の集積量とその燃焼特性および燃焼試験と草地の火入れの際の地温の上昇について. 飯泉 茂(編), 日産科学振興財団助成「林野火災の拡大機構とその跡地における生態機能の回復に関する研究」研究報告集 林野火災の生態: 91–97.
- Tanaka, S., Funakawa, S., Kaewkhongkha, T., Hattori, T., and Yonebayashi, K. (1997) Soil ecological study on the dynamics of K, Mg and Ca, and soil acidity in shifting cultivation in northern Thailand. *Soil Sci. Plant Nuter.* 43 : 695–708.