

傾斜地における大型機械を活用した
天然更新法

傾斜地における大型機械を活用した天然更新法

I 試験担当者

生産技術部林業機械科造林機械研究室 鈴木皓史 遠藤利明 三村和男 佐々木尚三
山田健

生産技術部育林技術科更新機構研究室 谷本丈夫 桜井尚武 田中信行 飯田滋生

森林環境部立地環境科立地評価研究室 小林繁男 今矢明宏 田中永晴 酒井寿夫
藤本潔

森林環境部立地環境科土壌物理研究室 加藤正樹 小林政広 田中優子

森林環境部水土保持科治山研究室 堀江保夫 三森利明 大倉陽一

II 要旨

ササ林床の天然林における更新補助作業の手段として、バックホーリッパを用いた作業方法を新たに開発した。バックホーリッパはすでにかなり普及しているレーキドーザと比較して、急傾斜地での作業が可能、パッチ状掻起しが可能、掻起し地に踏圧をかけないため土壌の性質を劣化させない、という長所がある反面、バックホーによる作業は基本的に停車作業であり、1操作あたりの掻起し幅が狭いため作業能率が低い。今回作業対象地とした場所は急傾斜地でなおかつ下流に景勝地があるため、急傾斜地における安全作業が可能で土砂の流出を生じないように、バックホーで直登しながら両側をパッチ状に掻起す方法およびバックホーで等高線方向にテラス状の走行路を作設しながら両側をパッチ状に掻起す方法を考案した。掻起しを行った結果、今回考案した方法ならば傾斜地において安全作業が可能で、パッチ状掻起しは土砂の流出防止に効果的であり、掻起し地の土壌の性質はバックホー走行路と林地の中間的な値で、掻起し地は更新の場として適切であることがわかった。

III 試験目的

林床をササに覆われた天然林では、ササによる被圧および落葉落枝による種子の着床阻害などのため、天然下種更新は困難である。ササは地上部を刈払うなどして除去しても速やかに根茎から再生するので、確実な更新を図るためには、ササを地上部のみならず根茎と落葉落枝ごと除去して鉱物質土壌を露出させる必要がある。現在、ササ生地の地拵えにはレーキドーザが一般的に用いられているが、レーキドーザは労働安全上および林地保全上問題となる以下のような短所を持っている。

①作業機の自由度が小さく、車両が作業地を走行する必要があるため、急傾斜地での作業が困難である

- ②等高線走行が困難で、緩傾斜地においても傾斜方向に作業を行うため、掻起し地が雨水の流路となって表土浸食を生じる可能性が高い
- ③傾斜地で表土浸食を防止する方策としてパッチ状掻起しがあるが、パッチ状掻起しは困難である
- ④掻起し作業中に旋回することはできないため、掻起し形状を細かく設定することができない
- ⑤車両が作業地を走行する必要があるため、掻起し地に踏圧を加え、土壌の物理性を悪化させる可能性がある

本研究の対象地となっているのは前橋営林局水上営林署管内のブナ天然林ササ林床地で、急傾斜地にある程度まとまった面積の無立木ササ生地が散在している。溪流美を特徴とする景勝地の山麓であるため土砂の流出を避けねばならず、面的あるいは傾斜方向への線状の作業を行うことはできない。

北欧などの林業先進国では、地拵え方法は林地保全を考慮して、全面あるいは線状を避けてパッチ状地拵えが主流となりつつある。それらの諸国と比較して、植生の繁茂が著しく急傾斜地の割合が高く降雨が集中する傾向のある日本国内では、いっそうパッチ状地拵えの手法を確立する必要がある。

これまでの天然下種更新補助作業機械化の研究の中で、既にレーキに代わる地拵え作業機として、バックホーのバケットの代わりに熊手状の爪を取付けたバックホーリッパを開発済みである。バックホーリッパは、前記のレーキドーザの短所の裏面として以下に示すような長所がある。

- ①急斜面を切り取ってテラス上の平地を作設し、車両を平地上においてブーム操作により掻起し作業を行うことができるため、急傾斜地での安全作業が可能である
- ②掻起し形状を自由に設定できるため、パッチ状掻起しや樹冠に沿った曲線状の掻起しなどが可能である
- ③掻起し地に踏圧をかけないので、周囲林木の根系や土壌の物理性に悪影響を与えることが少ない

短所として、作業機の掻起し幅が狭く、停車状態での作業が基本であるため、作業効率がレーキドーザと比較してかなり低いことが挙げられる。今回は、さらに改良を加えたバックホーリッパを開発し、バックホーリッパを使用した急傾斜地においても安全作業可能で土砂の流出を生じないような、新規な作業方法を2種類考案した。

過去、大型機械による地拵えに関する研究は数多くなされてきたが、国内での研究例の多くはレーキドーザによるものであり、バックホーその他パッチ状地拵え可能な機械による地拵えの研究例は少ない。また、更新対象樹種がカンバ等である場合が多く、ブナを対象とした例は少ない。ブナには、種子結実豊作年間隔が4~8年と長い、種子が重力散布型で散布範囲が限られている、裸地上では動物による捕食を受けやすい、などの地拵えによ

る天然下種更新補助には不利な特徴を持っているが、結実豊作年に掻起しを行えば多数の稚樹発生が見られることが判明している(7)。本研究では、地表浸食・土砂流出防止に力点を置いて小面積のパッチ状掻起しを試みることにした。パッチ状掻起しは、掻起し単位面積が小さいことにより植生回復が早く結実間隔の長い樹種の更新には不利となり、また母樹の種子散布域にかかる面積も小さくなる。そのような条件下でのブナの天然下種更新の可能性について長期的に調査を行った。

IV 試験地および作業方法

1. 試験地概要

試験地は、群馬県水上町に所在する前橋営林局水上営林署管内大利根国有林68林班のササ林床ブナ天然林で、利根川水系のほぼ最上流域のうちの一カ所である。武尊山の北斜面に位置し、標高1570~1640m、最大積雪深2.4m、植生はブナを中心としてカンバ類などを交えた落葉広葉樹林で、土壌はB₀型(適潤性褐色森林土)で一部にP_{4(i)}(湿性鉄型ポドゾル)を交えている。試験地の所在を図-1に示す。林床はチマキザサに覆われており、試験地内には無立木ササ地が散在している。傾斜角30度を超えるところが広く見られるような急傾斜地である。林道終点からさらに1km程度上流にさかのぼった位置にあるが、過去の施業時に作設した試験地に至る作業道が残っており、バックホーはそこを通過して試験地に到達することができる。今回の天然下種更新補助作業は無立木地を解消することが主目的であり、環境林造成の意味合いが強い。本試験地の下流には照葉峡と呼ばれる溪流美が風景の主体となっている景勝地が控えており、本試験地において土砂を流出させれば照葉峡に濁流が流入することが予想されるので、土砂流出を確実に回避できるような地拵え方法をとらねばならない。

2. バックホーリッパ概要

今回使用したベースマシンの諸元を表-1に示す。ベースマシンは0.45m³クラス、車体重量約11800kgfのバックホー(日立EX120)で、ブームのストロークは旋回中心から8.2mである。急傾斜地の登降坂のため三角シューの湿地用クローラを装着しており、車幅、接地長とも約2.5mである。オペレータは建設機械運転歴約20年でバックホーの操作には熟達しているが、ササ掻起し作業に従事するのは初めてである。

今回製作したバックホーリッパの形状および諸元を図-2、a、表-2に示す。リッパはバケットを取外してそのまま取付けられるような形状とした。全幅、取付けピンから爪先端までの長さをバケットとほぼ同じとし、バケットと同様の操作で同じ面積をすくい取ることができるようにした。爪部分の板厚は35mmとした。現地調査により判明したササ根茎の最大深にあわせて、爪の貫入深を380mmとした。爪部分の板厚が現状のままで貫入深をこれ以上長くすると、曲げ支点からのモーメントが大きくなって爪に横方向の力が加かったときに爪が曲がる可能性があることが、これまでの試験結果からわかっている。以前

製作したバックホーリップ（図-2. b）はすくい面が直線的であったが、すくい面を湾曲させればササ根茎層が湾曲面に沿って剥取られてさらに効率的な作業が可能なのではないかと考え、すくい面を半径 600mm の曲線形状とした。さらに切削性能の向上をねらって、爪先端に泥炭掘削用の超硬鋼材のチップを取付けた。基本形状は 3 本爪であるが、各爪の中間にさらに着脱可能な爪を装着して 5 本爪としても使用できるようにし、3 本爪と 5 本爪について作業能率を比較することにした。2・4 番目の着脱式の爪は、現地で基本的な工具のみにより簡単に取付け・取外しできるよう、爪間補強シャフトおよび本体ブラケットにフランジを介してボルトで固定する構造とした。

3. 作業方法

1) 初年度の作業方法

初年度の作業方法は図-4、図-5 の通りである。傾斜 10° ～ 25° 程度の北東向き斜面上にバックホーが最大傾斜方向に登行する走行路を設け、その両側をほぼ正方形に市松模様にパッチ状掻起しする。パッチ状掻起しの斜面下部に緩衝帯としてパッチと同面積のササ無処理区を設け、土砂流出を防止することを意図したものである。バックホーが傾斜地を走行する場合、障害物の回避やスリップなどにより完全な直線走行は不可能なので、走行路の幅は車幅に 1m 余りの余裕を持たせて 4m とした。パッチの大きさは $3\text{m} \times 3\text{m}$ 、 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 、 $7\text{m} \times 6\text{m}$ の 3 種類とし、 $3\text{m} \times 3\text{m}$ 区は 1 試験区あたり 15 ヶ所、 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 、 $7\text{m} \times 6\text{m}$ 区は 1 試験区あたり 10 ヶ所掻起すこととした。走行路は傾斜方向に設けられることになるが、走行回数が少ないため植生が失われることがなく、表土浸食の危険性は少ない。

本研究で更新を図る樹種はブナである。ブナの結実豊作年間隔は 4～8 年とされており、掻起し後に更新に足る量の種子が散布されるまで数年かかると見るのが妥当であろう。従って、掻起し面が裸地のまま更新の場として存在する期間が長いことが望ましい。掻起し面積が大きい方がササその他の植生の回復に時間がかかって更新の場としての機能を長く維持する反面、小さい方が斜面長が短く地表浸食の危険性が少ない。両条件を満足するような適値を探るため、3 種類の掻起し面積を設定した。当初はパッチの最大値を $7\text{m} \times 7\text{m}$ とする予定であったが、バックホーのストロークが不足していたので $7\text{m} \times 6\text{m}$ とした。以上の試験区を傾斜別に 6 カ所設定し、それぞれ A～F 区と命名した。各試験区の傾斜角は、 8.5° ～ 21.4° であった。試験地の配置を図-6 に示す。

上記の掻起し方法で、1991 年 9 月下旬に作業を行った。作業を行うにあたっては、あらかじめ測量により掻起し区を厳密に設定し、4 隅に測量用ポールを立ててオペレータの目印とした。ササ高が高くポールがバックホーのキャビンから判別不能の場合には、要員を配してオペレータに合図を送りながら作業を行った。掻起し区内に立木がある場合には、その周辺を掻起すことは避けた。除去したササその他の植生は隣接するササ無処理区へ移動した。

2) 2 年目の作業方法

2 年目の作業方法は図-7 の通りである。以前より急傾斜地では切取り走行路を作設すべきであると低減している (6)。平均 30° 程度の斜面上に斜めに登行するテラス状の走行路を作設しながら、その両側を間欠的にパッチ状に掻起しする。走行路は斜め登行する傾斜角が 15° 程度となるよう作設する。掻起しパッチと走行路の間にある程度の幅のササ無処理区の緩衝帯を設ける必要があるため、バックホーのブームの最大ストロークと緩衝帯の幅から掻起しパッチの大きさが制限され、斜面上部が $5\text{m} \times 4\text{m}$ 、斜面下部が $5\text{m} \times 3\text{m}$ となった。試験地内の掻起しパッチ配置を図-8 に示す。登行路は電光型に作設することにしたが、試験地の面積が 1 往復分程度だったので、スイッチバック回数は 1 回となった。試験地の横幅は掻起しパッチ 4 ヶ所分だったので往復で 8 ヶ所、それぞれ斜面上下を掻起したため、計 16 ヶ所の掻起しパッチが作設された。バックホーは、掻起し作業を行った後そのまま走行路を作設しながら斜面を登行し、斜面上部の作業道に到達した。2 年目試験地は、初年度試験区名の延長として G 区と命名した。

上記の掻起し方法で、1992 年 9 月下旬に作業を行った。こちらはパッチの位置を細かく設定する必要がないため、登行路を作設するバックホーに要員が追従し、あらかじめ決定しておいたパッチ間隔に従ってパッチの位置をその都度オペレータに指示しながら作業を進めた。除去したササその他の植生は周囲のササ生地に移動した。掻起し区の正確な位置は、作業後に測量した。バックホーが前進するごとに後方の走行路を埋め戻すという作業方法も考案したが、手間がかかって作業能率が著しく低下する点と、走行路自体が更新の場となることが期待できることから、今回は見送った。しかし、より急傾斜地で地拵え作業を行うときや、土砂流出をより厳密に抑えたいときには考慮する価値のある方法であろう。

いずれの方法もバックホーは走行路上を走行し、定位置に停止して旋回とブーム操作により掻起し作業を行うので、作業中に車両が斜面上で不安定な状態になることがなく、レーキドーザのように掻起し地に走行装置による攪乱を生じることもない。以上の 2 つの方法により掻起し作業を行った結果、初年度の方法では傾斜角 20° 程度まで、2 年目の方法では 30° 程度まで、安全作業が可能であった。なお、初年度の試験地のうち E 区については、傾斜角が最大で約 25° あり、走行路をバックホーが走行する際に地表を覆うササ稈上でクローラがスリップして、登坂できなくなるばかりか斜面下方に滑落する危険があったので、作業を取りやめた。従って、実際に試験を行ったのは、6 試験区のうち A、B、C、D、F の 5 試験区である。

ササを除去するに際しては、極力土壌の移動量が少なくなるように、すくい上げた後にリップを振動させてササ根茎に付着している土壌をふるい落とすようにした。従って、土壌の含水率の高い雨天時などには、付着した土壌をふるい落とすのに手間取って作業効率が低下した。

V 調査方法

1. 掻起し作業能率

各条件下における作業能率を測定し、ササ密度、土壌水分、掻起し面積と作業能率の関係を検討した。前述の通り、爪の脱着により5本爪と3本爪とを切替えられるリップパを試作したので、それぞれについて作業能率を測定し、比較した。また、F区7m×6m 掻起し区におけるバックホーリップパによる掻起し作業をビデオ撮影し、後に再生して要素作業ごとの時間分析を行った。

2. 相対照度

G区において、掻起し区4ヶ所でそれぞれ斜面上部と下部のパッチ中央と縁部の地表における相対照度を測定した。対照区として、ササ無処理区のうちササの生立密度および被度が平均的と思われる箇所3ヶ所の地表における相対照度を測定した。測定は、掻起し作業終了後間もない曇天の日に行った。相対照度の対照照度(100%値)は、掻起し区近傍の大面積無立木ササ地の葉層上において測定した。1ヶ所につき5回繰返して測定し、その平均値をとった。

3. 走行路、掻起し地と対照地の土壌の性質

F区のバックホー走行路、7m×6m 掻起し区2ヶ所、ササ無処理区およびG区の走行路、掻起し区、ササ無処理区に調査区を設定し、以下の土壌調査・観測をF区については5年間、G区については4年間行った。

土壌型を把握するために土壌断面調査を行った。掻起し深度を測定した。400cc 採土円筒を用いて各区ごとに4点ずつのサンプリングを行い、土壌物理性を分析した。山中式土壌硬度計により、各区につき5回の繰返し測定により表層土壌の硬度を測定した。B、D、G区で塩化ビニル管を土壌に挿し、表層土壌の高さの変化を測定する抗挿し法により各区3列9点(27点)の表土移動量を測定した。直読式テンシオメータにより各区、土壌の深さ10cmと30cmの土壌水分を測定した。

4. 掻起し地からの土砂流出量

流出土砂観測のために、初年度試験地のうちB、C、D、Fの各試験区斜面下部に、幅26cm長さ6mの塩化ビニルの樋を試験地斜面下端に設置し、樋の両脇にメッシュをかけた直径3cm程度の排出口を設けた。D、F区については、ササ無処理区からの土砂流出量についても観測した。樋にたまった土砂については、重量測定、粒度分析を行い、地山の砂についても粒度試験、透水試験、pF試験を行った。また、各試験地に2m間隔に計16本のピンを設置し、浸食深を測定した。降水量については、試験地から約1kmのところの水資源開発公団の自動観測施設があるのでそのデータを使用した。

5. 植生回復速度

初年度試験地において、経年的に植生侵入状況を調査した。

6. 更新状況

初年度試験地の掻起し区内に2m×2mの方形区を各処理面積ごとに15カ所ずつ計45カ所設け、ブナ稚樹の本数をカウントした。また、試験地の母樹の毎木調査を行った。

VI 調査結果

1. 掻起し作業能率

掻起し作業工程は、図-9に示すとおりであった。ここで示す正味掻起し作業工程とは掻起し面を掻起すときのみの作業工程であり、掻起し作業工程とはそれに加えて掻起し面間の移動や手待ちをも含めた作業時間全体での作業工程のことである。初年度試験地では、傾斜角による作業工程の差は見られなかった。作業工程は、掻起し面積が大きくなるほど高くなった。掻起し面積が大きいほど、掻起し面積に対する掻起し区境界線の長さの割合が短く、注意を払わずに掻起しできる面積割合が高いことと、正味掻起し時間に対する付帯作業時間の割合が低いことによると考えられる。

ササの密度が小さいときには、爪間隔が広いと隙間からササが落下してしまうため、爪間隔の狭い5本爪が効率的であった。ササの密度が大きいとき、および土壌水分が多いときには、爪間隔が広く付着土壌をふり落としやすい3本爪が効率的であった。これについては、これまでの試験結果と一致している(8)。したがって、土壌含水率やササ密度により爪本数を迅速に変えられるような構造とすることが望ましい。3本爪で作業を行った場合のササ地上部重量と掻起し作業工程の関係を図-10に示す。ササ地上部重量と掻起し作業工程は逆比例の関係にあった。すくい面形状の改善および超硬チップの装着の効果については、作業能率を比較した限りにおいては従来型との間に差は見られなかった。

7m×6m区で行った掻起し作業時の要素作業ごとの頻度および時間の分析結果を図-11に示す。頻度、時間とも最も多かったのが地掻きであった。ササ根茎に付着した土壌をふり落とす操作が含まれているためであると考えられる。旋回は回数が多かったが時間的にはそれほど多くなかった。地掻きを1回行うごとに除去したササを移動するために旋回しなければならないが、旋回およびササを捨てる操作には時間はかからないからであろう。時間分析は7m×6m区で行ったが、掻起し面積が小さければブームのストローク内でササ無処理区に到達でき、地掻き後旋回のみでササ捨てができるので、掻起し面積が小さいほど前後進の割合は小さくなる。作業時に掻起し区の境界をオペレータに知らせる要員を配するなど万全の体制で臨んだため、作業能率が向上して手待ち時間は非常に少なくなっているが、実際に事業的に最小限の要員数でバックホーリップパ掻起しを行う際には、手待ち時間の割合が増大するか、または境界線の判読などの要素作業が新たに加わるものと考えられる。

2. 相対照度

掻起し区とササ無処理区の相対照度を図-12に示す。ササ無処理区の相対照度が最高

3.1%、最低0.6%、平均1.5%であるのに対し、掻起し区中央では最高81.1%、最低34.0%、平均66.2%、掻起し区縁部では最高33.7%、最低11.8%、平均22.7%であった。掻起し区中央は光条件に関してはほぼ更新適地であるのに対し、掻起し区縁部ではブナの成長に十分な光は得られない。しかし、ササ無処理区はたとえブナが発芽したとしてもとうてい生存できないような光条件であるため、掻起し作業を行うことにより光条件については格段に改善されたといえることができる。

3. 走行路、掻起し区と対照地の土壌の性質

走行路、掻起し区、対照地の土壌の三相比および詳細な構成を図-13に示す。また、孔隙組成、粗孔隙量と透水性の関係、密度と透水性の関係の一年間の変化を図-14、図-15、図-16、に示す。対照区であるササ生地では、密度が小さく最小容気量と粗孔隙率が大きい。走行路は密度が大きく、最小容気量と粗孔隙率は小さい。掻起し地はその2つの中間を示すが、値の変動の幅が大きい。三相比も上記と同様にササ生地では気相が多く、走行区では固相が多く、掻起し地では両者の中間の値を示す。孔隙組成を見ると、ササ生地では粗孔隙が多く細孔隙が少なく全孔隙量が多く、走行区では粗孔隙が少なく細孔隙が多く全孔隙量が少なく、掻起し地ではその中間的値をとる。

表土の密度と土壌硬度の関係を図-17に、土壌硬度の経年変化を図-18に示す。土壌硬度も物理性と同様、走行路が最も高く、ササ生地がもっとも低く、掻起し地はその中間であった。掻起し区の硬度は1年後には掻起し直後よりも増加していた。掻起し直後の掻起し区の土壌硬度は密度や含水率との関係が明瞭でないが、時間とともに密度や含水率と正の相関を示すようになる。掻起しを行うことにより有機物含有量の少ない真比重の大きい堅密な下層の土壌が表層に現れるため、攪乱を受けた直後は耕耘効果により硬度が小さいものの、土壌が安定してくると土壌硬度が大きくなるものと考えられる。

掻起しの平均深度は18.6cmであった。掻起し区においては、掻起し場所と土盛りを行った場所で土壌の沈降が見られたが、顕著な土壌の移動は見られなかった。掻起し地下部に作設した土盛りにより土壌の移動がそこでくい止められ、ササ地までは到達しなかったものと考えられる。

走行路、掻起し区、ササ無処理区の土壌水分張力の変化を図-19に示す。水分張力の高さが土壌の乾燥の度合いを示す。ササ無処理区、走行路、掻起し区の順に乾燥しており、いずれも表層に近い土壌の方が乾燥している。ササ無処理区と走行路は植生が存在しているため、掻起し区と比較して、降雨の遮断と蒸散により水分の供給が少なく放出が多いためこのような結果となったと考えられる。

継続調査結果では、掻起し区の土壌物理性（孔隙組成、透水性）は経年的にササ生地に近い値に回復する傾向が見られたが、土壌硬度は逆に経年的に高くなる傾向が見られた。走行路の土壌物理性は、調査期間中には回復の傾向は見られなかった。

4. 掻起し地からの土砂流出量

試験地ごとの単位面積流出土砂量は、掻起し後に斜面に残っていた不安定土砂が積雪により流出した後は安定した値を示す。掻起し区から流出した表面浸食土砂量と地表傾斜の関係を図-20に、ササ無処理区から流出した表面浸食土砂量と地表傾斜の関係を図-21に示す。前述した不安定土砂の流出が終わった後には、掻起し区からの流出土砂量は、傾斜に対して指数関数的に増加する傾向が見られる。また、流出土砂量は経年的に減少する傾向が見られ、掻起し3年後には掻起し当年の1/10程度になっていた。これは、時間の経過に伴って地表が安定してくるとともに植生が侵入することによると考えられる。表層土壌の絶対密度から浸食深を計算したところ、傾斜角21.4度の掻起し区で最大で3mm/yr、最小で0.4mm/yr程度であった。

ササ無処理区からの流出土砂量は、各年度とも掻起し区からの流出土砂量と比較して約1/10~1/100であった。また、傾斜角との関係には一定した傾向は見られなかった。流出土砂量は経年的に減少する傾向が見られたが、これは掻起し区からの流入土砂量が経年的に減少することによると考えられる。以上のことから、ササ無処理区が掻起し区の浸食土砂の流出を効果的に防止しているといえることができる。

D試験地からの流出土砂の粒度試験結果を図-22に示す。地山の粒度分布と比較すると粒度が大きい側に変位しており、細粒分が流失していることがわかる。B区およびD区で行った透水試験結果ではB区が $7.27 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 、D区が $1.24 \times 10^0 \text{cm/s}$ で、降水量のデータと比較すると掻起し面に表面流は発生しないことになる。

5. 植生回復速度

作業後4年経過時点では、掻起し区の地表がササや草本類などの植生に覆われていた。植被率は10~100%で、平均 61.3 ± 35.2 であった。比較的被覆面積が大きいのはクマイチゴとクマイザサであったが、いずれもまだ広く掻起し地を覆うには至らず、更新稚樹への影響は小さいと考えられる。

6. 更新状況

ブナ母樹の胸高直径階別分布を図-23に示す。ブナ母樹密度は112本/ha、平均胸高直径は40.5cm、胸高断面面積合計は $18.0 \text{m}^2/\text{ha}$ であった。胸高直径階は中径木にピークを持つ正規分布に近い分布を示している。

1993年は一帯のブナ種子豊作年で、翌1994年に多数のブナ稚樹発生が見られた。ブナ実生稚樹の発生数および同年秋におけるブナ稚樹の生存率は表-4の通りである。発生密度が $16.8/\text{m}^2$ で生存率が85.6%であるので、成林に至ることが期待できる。ササ無処理区にはブナ稚樹の発生はほとんど見られなかった。一元配置分散分析の結果、ブナ当年生実生の発生数および生存率と掻起し面積との間に有意な関係は見られなかった。実生稚樹発生密度および稚樹生存密度と調査区属性の関係（単相関）を表-5に示す。調査区近辺（15m以内）の母樹胸高断面面積合計と弱い正の相関が、母樹の数と弱い負の相関が見られた。掻起し作業を行う際には、掻起し地と母樹の位置関係に留意する必要があるものということ

ができる。一元配置分散分析によれば、ブナ当年生実生の発生数および生存率と掻起し面積との間には有意な関係は見られなかった。

Ⅶ 考察

林床をササが被覆していることによるブナの更新不良地のうち、レーキドーザでは作業困難な傾斜地でのササ掻起し作業を、バックホーリッパで行った。その結果、

①直登走行路を設定して両側を市松状に掻起す方法と、斜め登行するテラス状の走行路を設定してその両側を間欠的にパッチ状掻起しする方法の2種類の作業方法を考案することにより、傾斜地での安全作業が可能であった。傾斜20度程度を境に、緩傾斜地では直登形の方法、急傾斜地では斜め登行形の方法を使い分けることが必要であるものと考えられる。

②掻起し区内では掻起し直後に表土の侵食が生じたが、不安定土壌がなくなり、植生が回復するとともに表土流出量は減少する傾向が見られた。斜面下方のササ無処理区が緩衝地となってそこで流出がくい止められた。掻起しパッチ面積による流出土砂量の差は見られなかった。

③パッチ状掻起し地には4年経過時点で、天然下種によるブナ稚樹が成林を期待できる程度の数発生しており、一方被覆植生による稚樹への影響は小さく、掻起し面が更新の場として機能していることが確認できた。掻起しパッチ面積による更新状況の差は見られなかった。

以上、傾斜地での掻起しを行うに当たり当初意図した効果を一通り得ることができたので、今回用いた掻起し方法は傾斜地で有効であるといえることができる。バックホーリッパを用いることにより、山岳林において環境を保全しつつ未立木ササ地を解消する方法を確立することができた。

Ⅷ おわりに

今回開発したバックホーリッパによる作業方法は、傾斜地での安全作業を可能とするものであった。バックホーリッパによるパッチ状掻起し地は、更新の場として有効に機能しており、周囲のササ無処理区が土砂流出を抑えていることが判明した。傾斜地における安全で林地保全に有効な天然下種更新補助作業として、今回の作業方法を今後広く活用することが可能であろう。海外ではすでに、バックホーアタッチメントのパッチ掻起し用作業機として、今回使用したバックホーリッパと類似した形状のスカリファイアの他にマウンダ、ミキサ、マルチャなどが開発されている(1)(2)(3)(4)(5)。また、バックホーをもってしても進入困難な急傾斜地における半脚式車両を使用してのパッチ状地拵えの研究例なども見られる(9)。それらも、急傾斜地での天然下種更新補助作業用機械として検討してみる価値があるのではないかと。地拵え作業は、造林作業の中では機械力導入によ

り人力と比較して飛躍的に作業能率が向上することが望める数少ない分野の一つである。地拵え作業に機械を使用できる範囲が拡大することは、大きな前進であるといえることができる。

引用文献

- (1)Blacke 社カタログ
- (2)FERIC : Silvicultural Operation News Letter 3-2
- (3)FERIC : Silvicultural Operation News Letter 7-2
- (4)FERIC : Silvicultural Operation News Letter 8-1
- (5)FERIC : Silvicultural Operation News Letter 8-2
- (6)三村和男・山田健：ササ掻起し3本爪リッパの試作と現地試験、日林誌73、437～441、1991
- (7)三村和男・山田健・鈴木皓史・佐々木尚三・花村健治・五十嵐毅・佐藤正男・山本忠司：天然下種更新とバックホウ造林機械(Ⅲ)―森総研式ササ掻起しリッパ1形と2形及びササ掻起し方法と作業性能―103回日林論、709～712、1992
- (8)三村和男・山田健・鈴木皓史・田中忠男・五十嵐毅・佐藤正男：天然下種更新とバックホウ造林機械(Ⅳ)―森総研式ササ掻起しリッパ3本爪と5本爪の現地比較試験―、104回日林論、875～878、1993
- (9)Stromnes R : proc. XVII IUFRO World Congress, Div 3, 269～278, 1981

図-1. 試験地所在



表-1. バックホーの諸元

型式	EX-120 (0.45m ³)
全長・全幅・全高 (mm)	11800kg
整備重量	
エンジン	名称 4BD1 デイゼル 4サイクル水冷頭弁 直接噴射式
気筒数	4
内径×行程 (mm)	102×118
排気量	3856cc
定格出力 (kW/cps)	62.5/36.6
(PS/rpm)	85/2200
最大トルク (Nm/cps)	235.3/26.7
(kgf·m/rpm)	24/1600
油圧装置	油圧ポンプ 可変容量ピストンポンプ×2 固定容量歯車形×1
圧力 (Mpa)	27.9
(kgf/cm ²)	285
油圧モータ	固定容量ピストン形×2
走行	固定容量ピストン形×1
旋回	
走行装置	トリブルグロース
履帯幅 (mm)	500
接地長 (mm)	2780
履帯中心距離 (mm)	1990
接地圧 (kPa)	41.58
(kgf/cm ²)	0.424
走行速度 (km/h)	4.1
旋回速度 (cps)	0.205
(rpm)	12.3
登坂能力 (度)	30
(%)	70

表-2. バックホーリッパの諸元

	3本爪	5本爪
全長・全幅・全高 (mm)	1140×731×560	
重量 (kN)	2.87	4.09
(kgf)	293	417
爪本数	3	5
間隔 (mm)	336	168
厚さ (mm)	35	35
長さ×間軸 (mm)	400	400
基部 (mm)	670	670
すくい面形状	半径600mm曲線 最大凹み130mm	
鋼材	S45C	
3本と5本の互換性	2本の爪は着脱可能	
適応土壌	土壌水分 湿 乾 ササ根茎密度 密 疎	

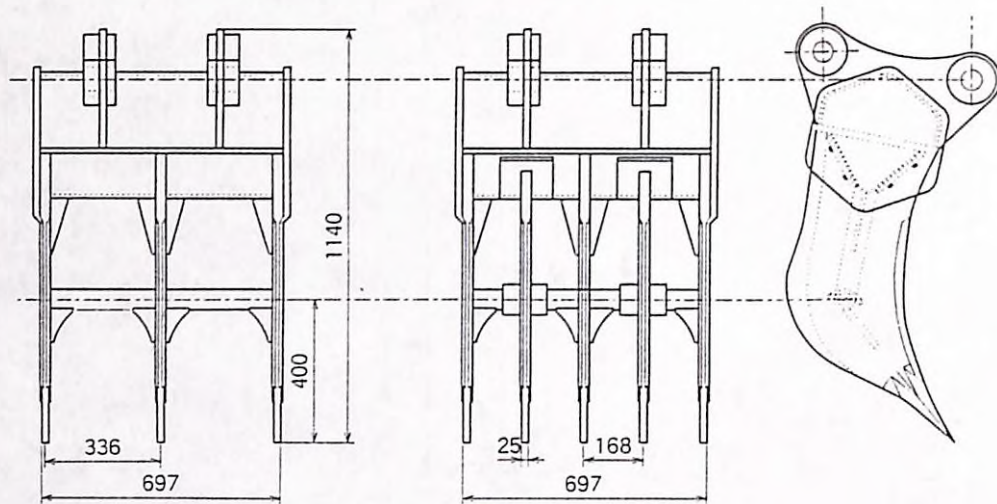


図-2.b. バックホーリッパ2型

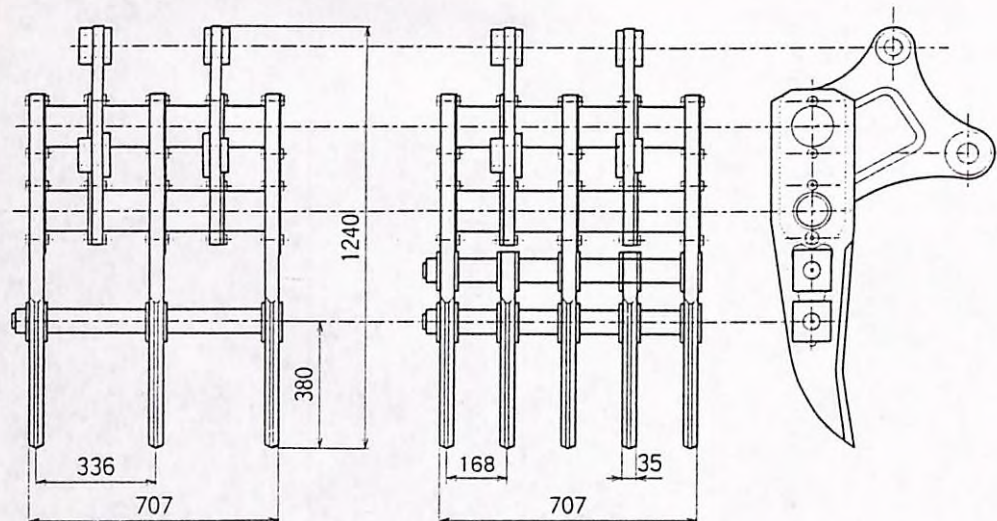


図-2.a. バックホーリッパ1型

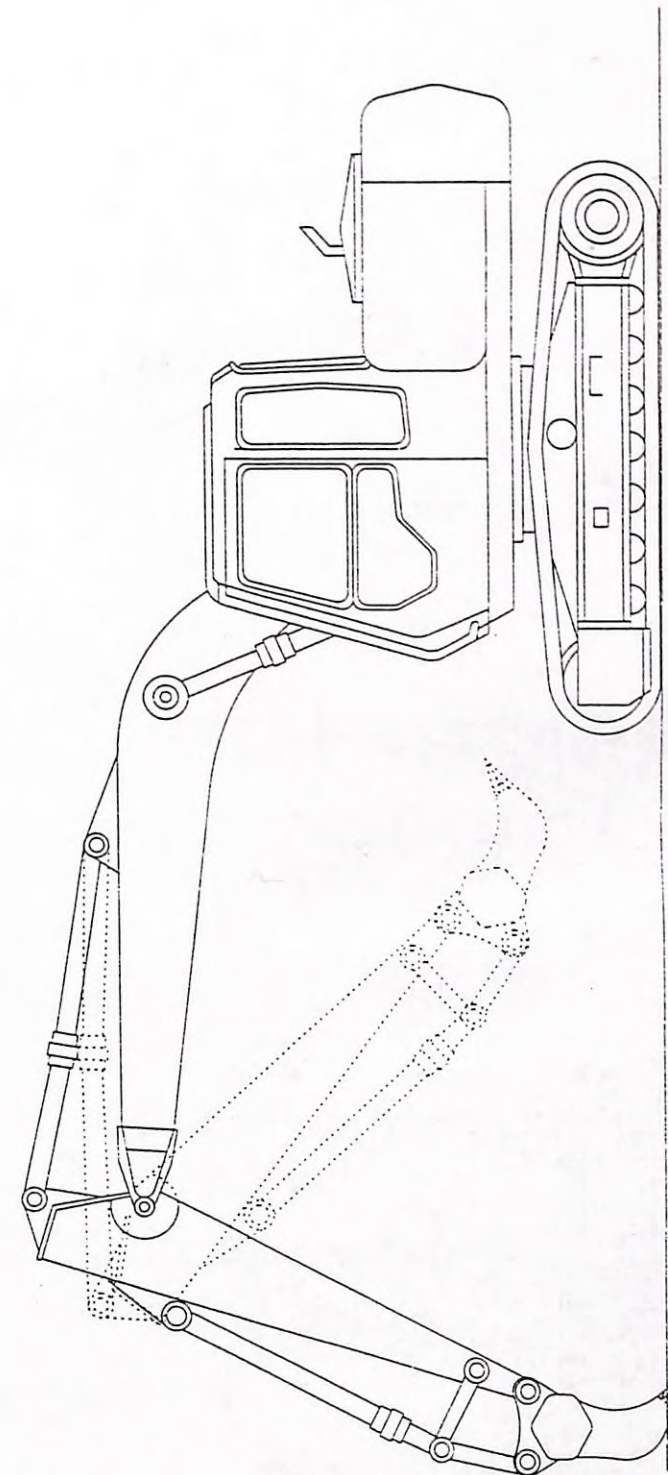


図-3. リッパを装着したバックホー外観

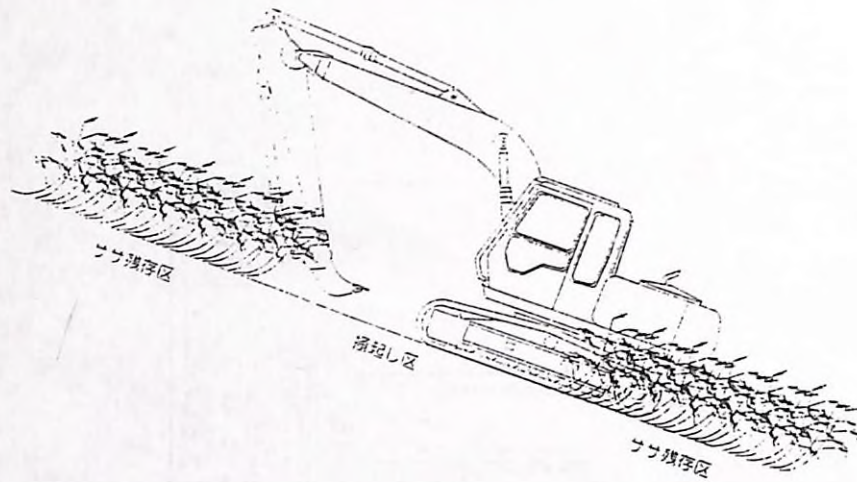


図-4. 作業方法1

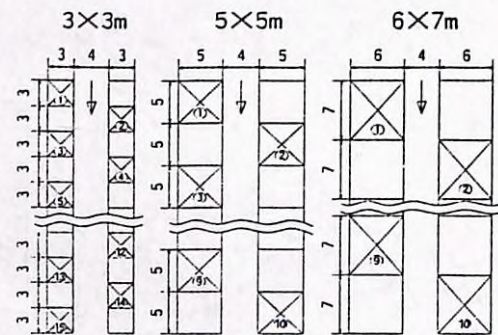


図-5. 掻起しパッチ配置

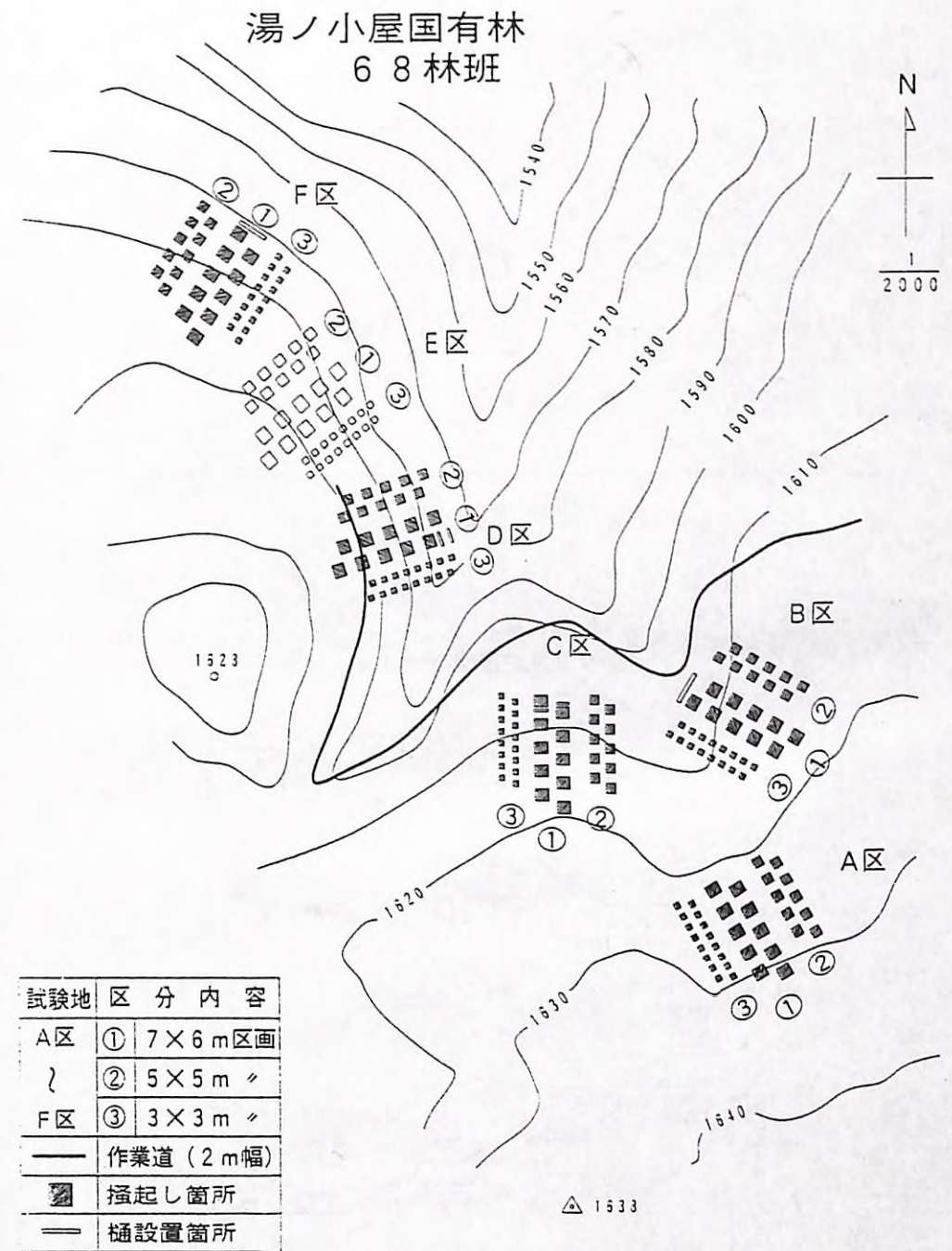


図-6. 試験地配置

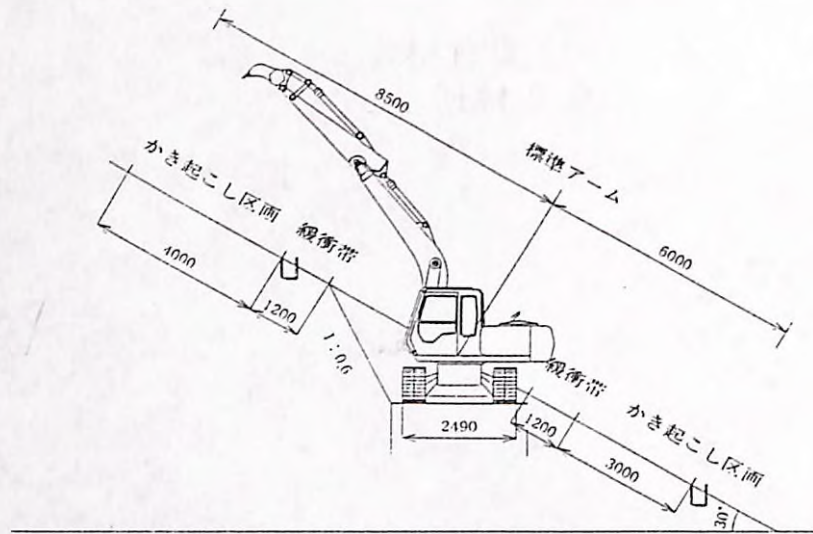


図-7. 作業方法2

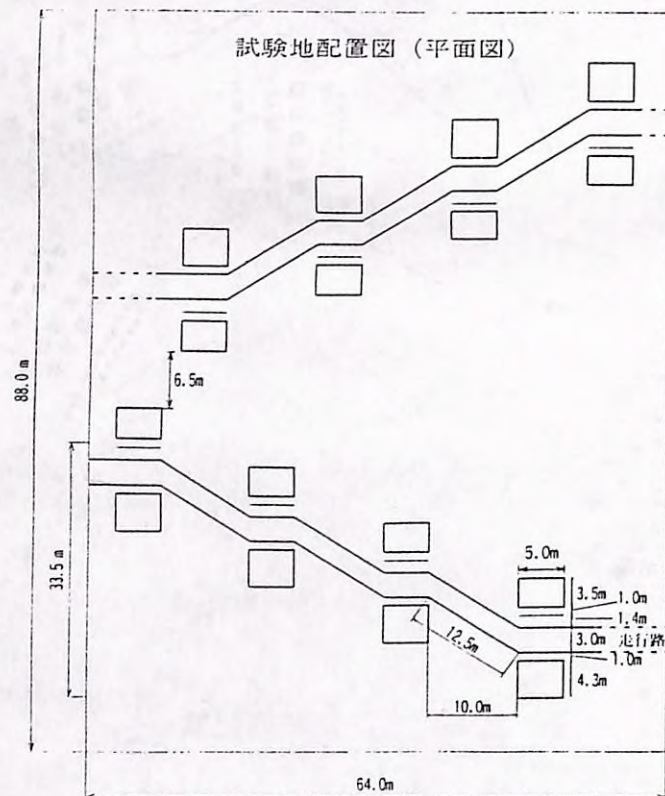


図-8. 掻起しパッチ配置

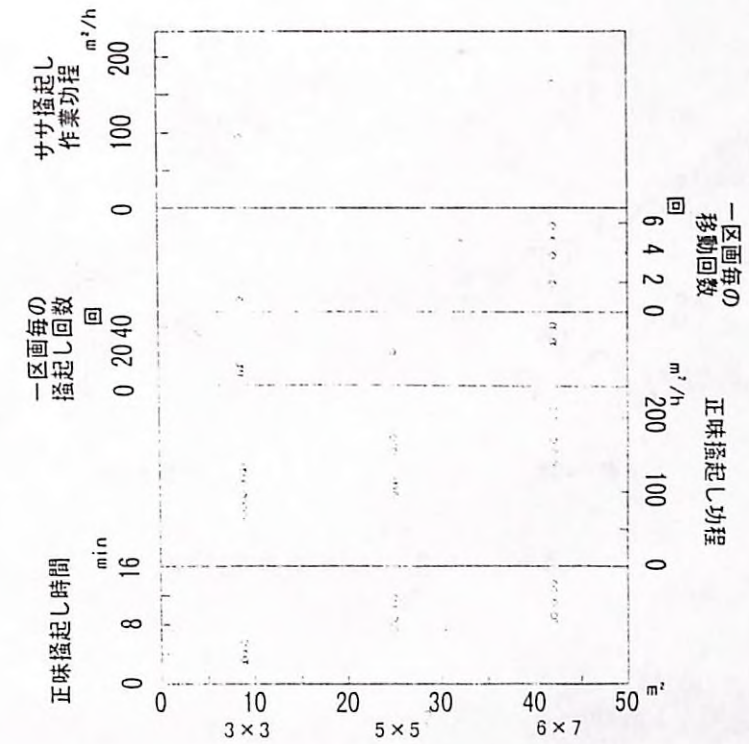


図-9. 掻起し作業功程

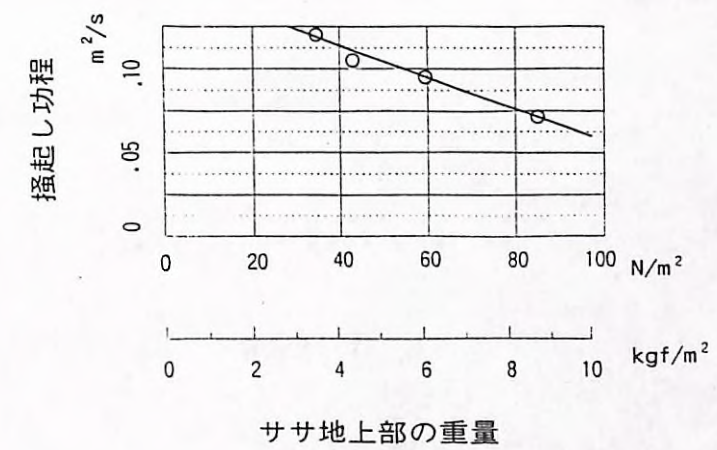


図-10. ササ地上部重量と作業功程

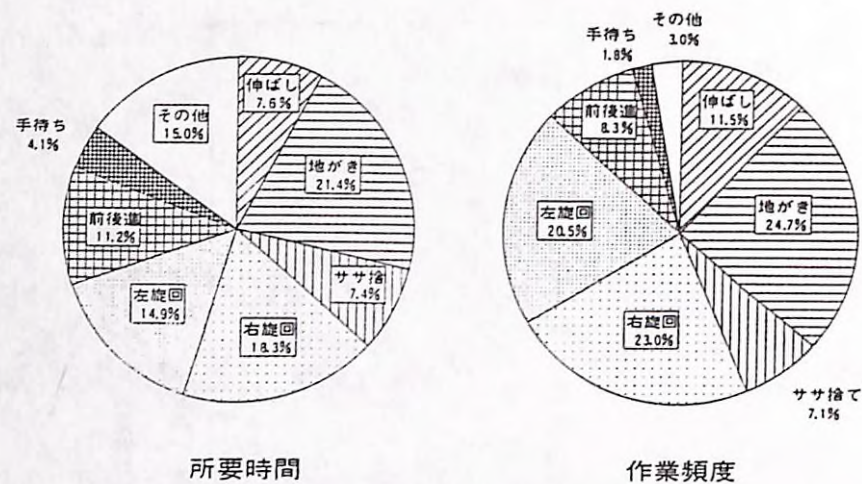


図-11. 掻起し作業時間分析

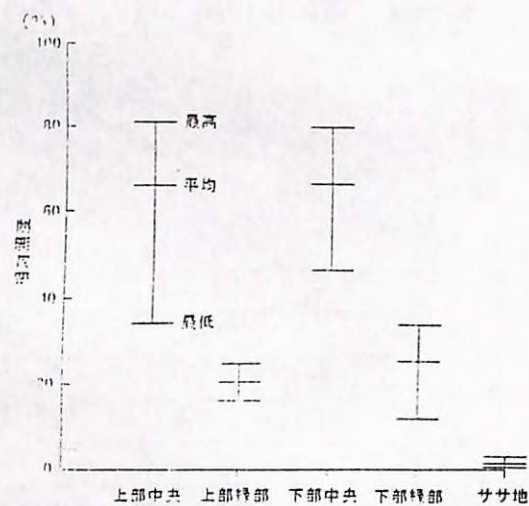
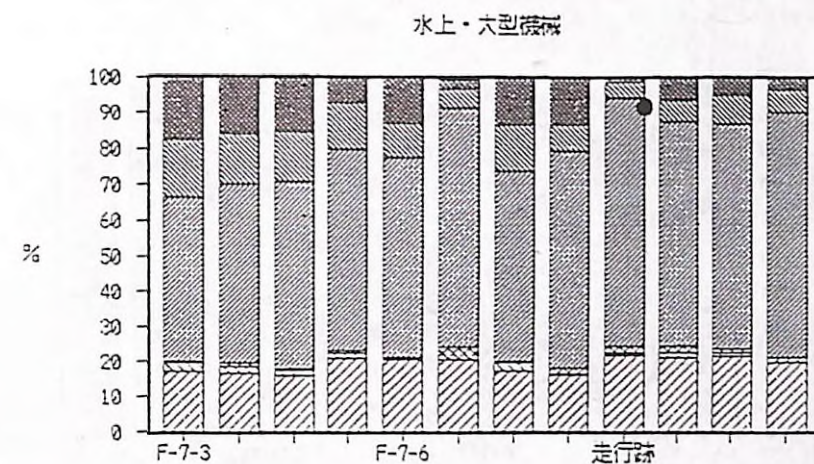
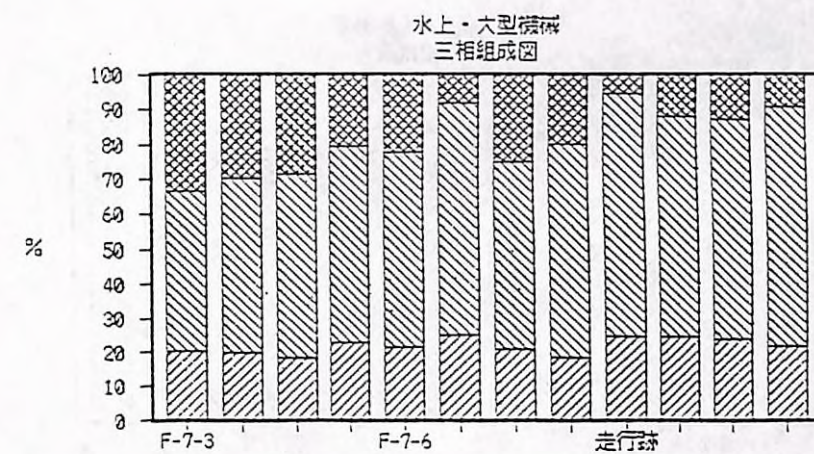


図-12. 相対照度



細土 砂 根 採取時含水量 最小空気量

大和根国有林におけるかき起こし区 (F区)、
大型機械走行区の表層土壌物理性 (各4サンプル)



固体 水 空気

大和根国有林におけるかき起こし区 (F区)、
大型機械走行区の表層土壌の三相組成 (各4サンプル)

図-13. 土壌三相および詳細な構成

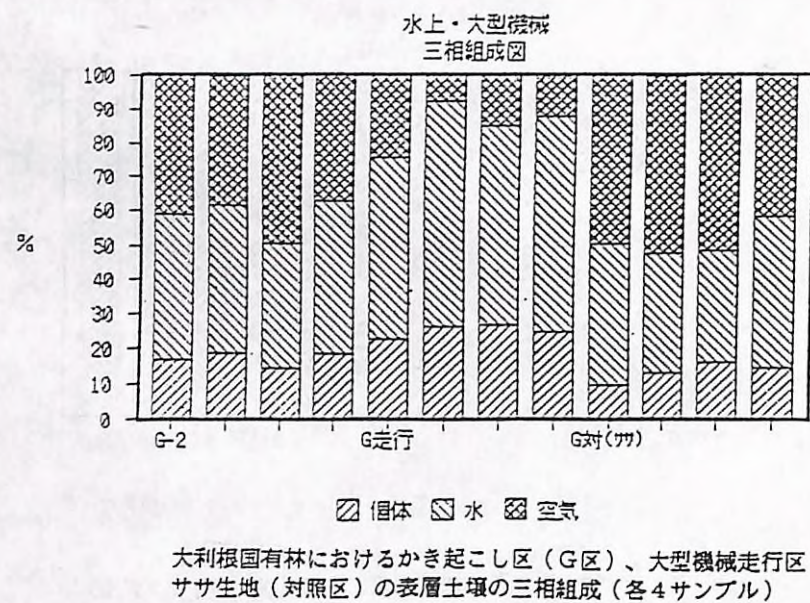
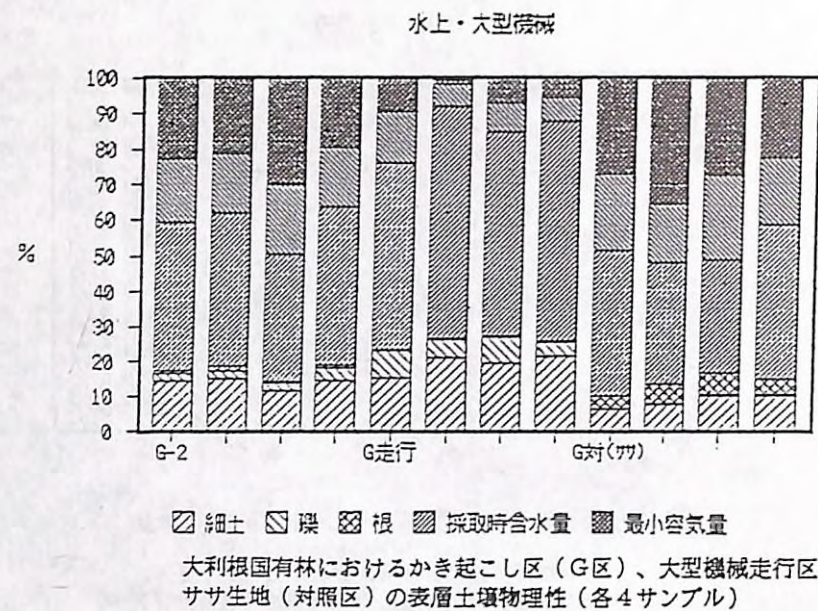


図-13. 土壌三相および詳細な構成

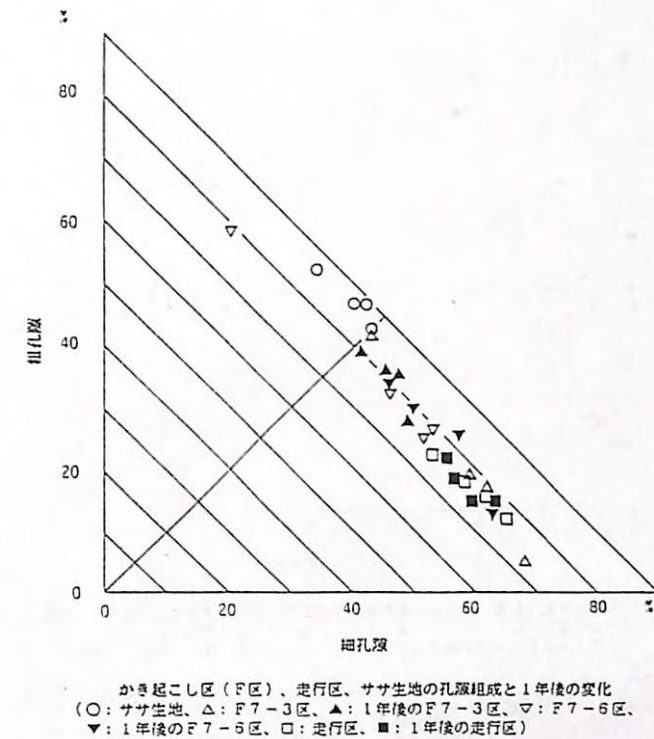


図-14. 土壌孔隙組成

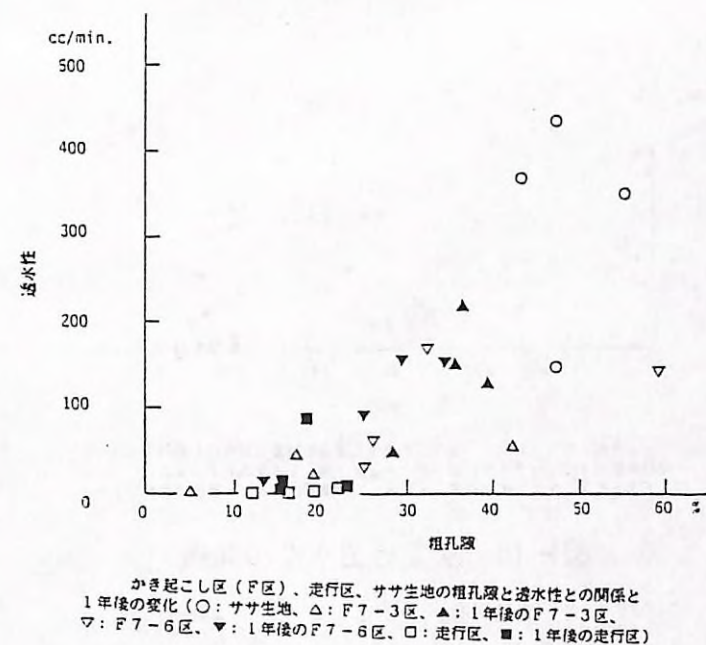
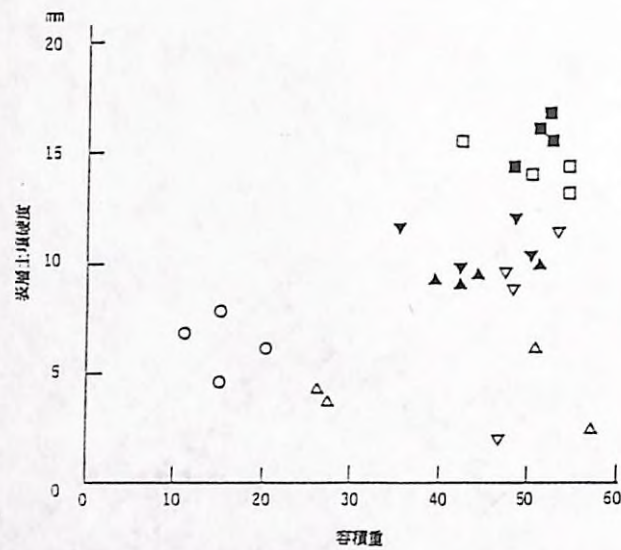
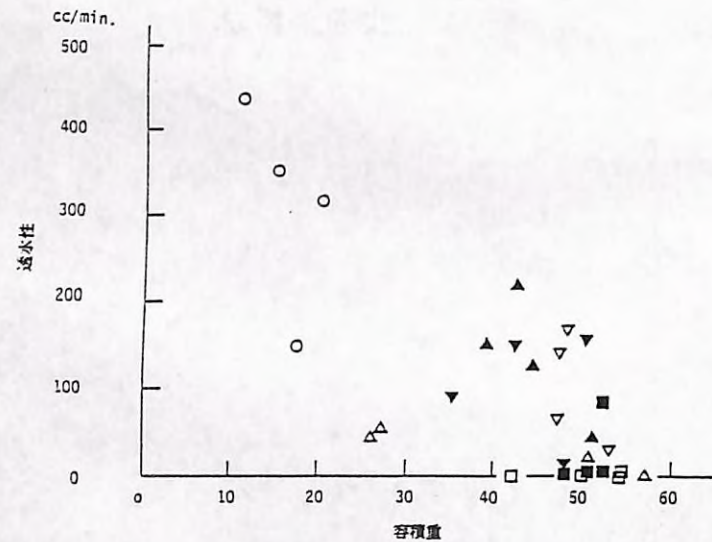


図-15. 粗孔隙量と透水性の関係



かき起こし区 (F区)、走行区、ササ生地、容積重と表面土の硬度との関係と1年後の変化 (O: ササ生地、Δ: F7-3区、▲: 1年後のF7-3区、▽: F7-6区、▼: 1年後のF7-6区、□: 走行区、■: 1年後の走行区)

図-17. 密度と土壌硬度の関係



かき起こし区 (F区)、走行区、ササ生地、容積重と透水性との関係と1年後の変化 (O: ササ生地、Δ: F7-3区、▲: 1年後のF7-3区、▽: F7-6区、▼: 1年後のF7-6区、□: 走行区、■: 1年後の走行区)

図-16. 密度と透水性の関係

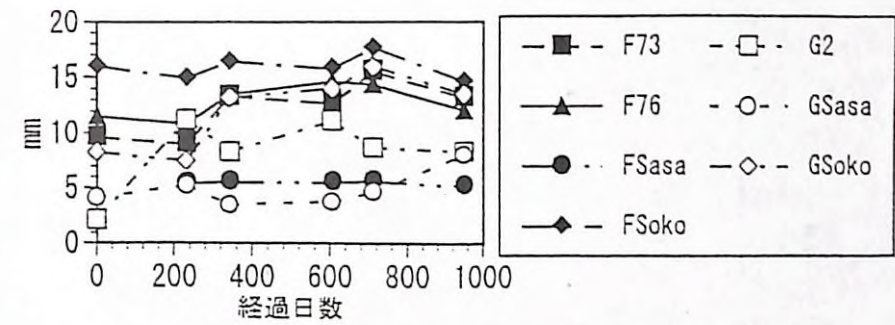


図-18. 土壌硬度の経年変化

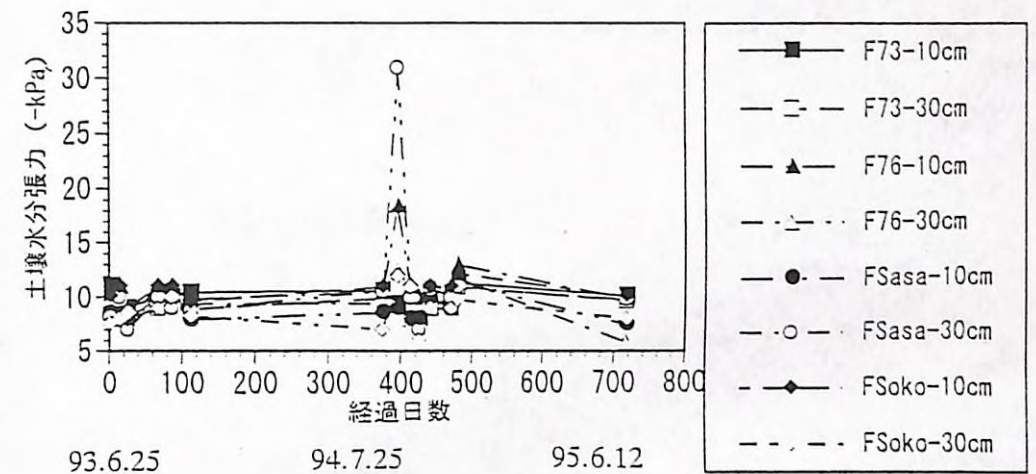


図-19. 土壌水分張力の変化

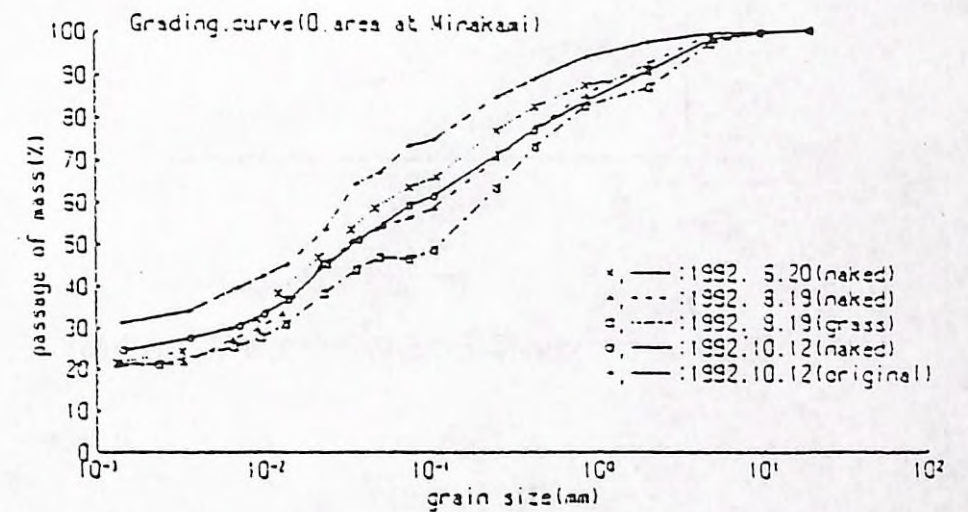


図-22. 流出土砂の粒度分析結果

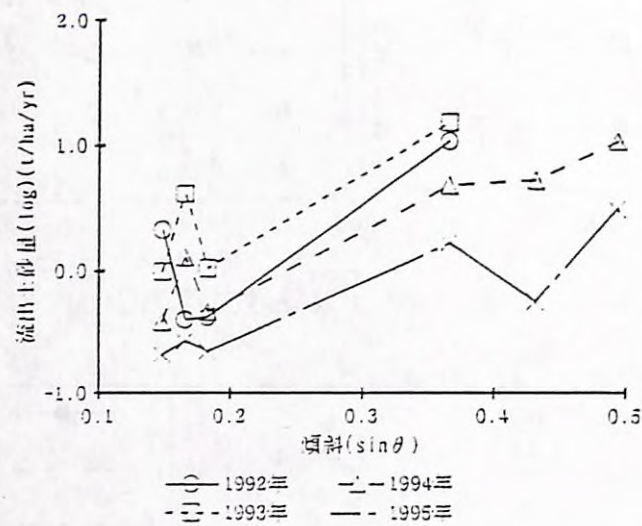


図-20. 掻起し区からの流出土砂量と地表傾斜

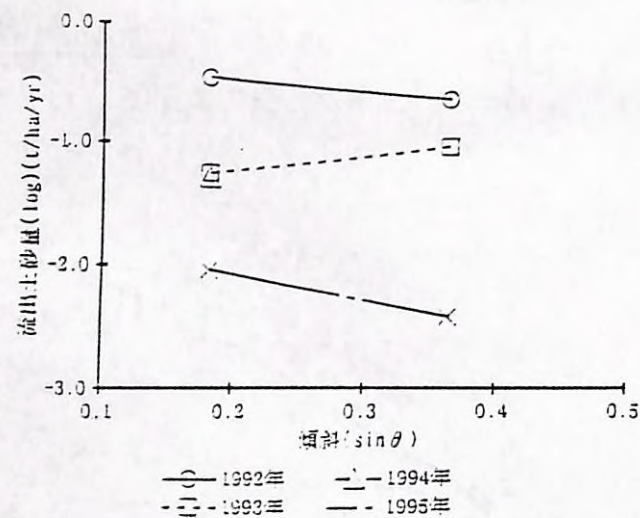


図-21. ササ無処理区からの流出土砂量と地表傾斜

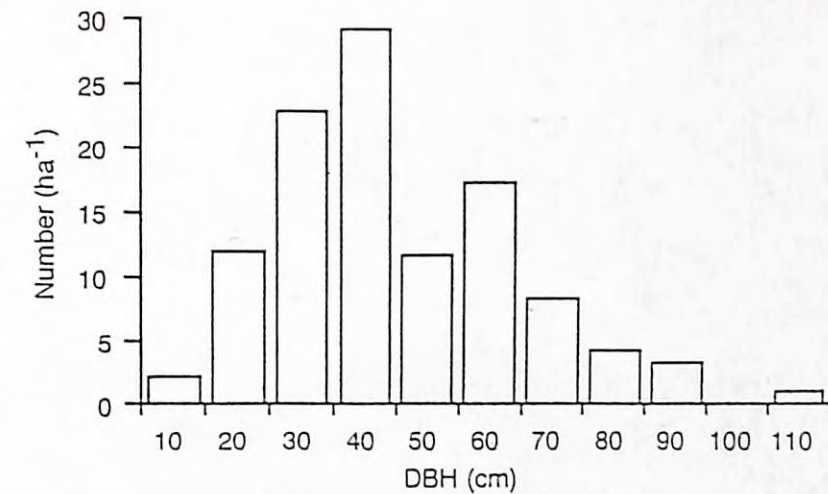


図-23. ブナ母樹の胸高直径階別本数

表-3. 掻起し面積とササ稈長、ブナ稚樹の発生数および生存率の関係

掻き起こし面積	ササ稈長 (平均高×稈数) (m/4m ²)	発生実生密度 (/4m ²)	生存実生密度 (/4m ²)	生存率 (%)
	mean ± S.D.			
3m×3m	2.0 ± 2.7	65.2 ± 48.1	54.4 ± 44.9	80.1 ± 17.6
5m×5m	4.2 ± 7.1	76.0 ± 54.2	66.3 ± 47.0	89.2 ± 11.8
7m×6m	1.0 ± 2.5	60.6 ± 43.8	54.4 ± 41.7	86.8 ± 12.2
Total	2.3 ± 4.7	67.3 ± 48.2	58.4 ± 43.9	85.6 ± 14.1

生存率は実生発生数が10以上の枠について計算した。

表-4. 稚樹発生数、生存数と調査区属性の関係

	発生実生密度 (/4m ²)	生存実生密度 (/4m ²)	生存率 (%)
生存実生密度 (/4m ²)	0.977 **		
生存率 (%)	0.125	0.303 *	
調査枠より15m以内の胸高断面積合計	0.343 *	0.317 *	-0.098
調査枠より15m以内の母樹本数 (DBH>5cm)	0.301 *	0.208	-0.36 *
掻き起こし面積 (m ²)	-0.054	-0.015	0.161
ササ稈長 (m/4m ²)	-0.085	-0.087	0.015

** p<0.01, * p<0.05, n=45, ただし生存率はn=43,