

E-1 熱帯林の持続的管理の最適化に関する研究

(5) 環境インパクトの少ない木材搬出手法に関する調査研究

独立行政法人 森林総合研究所

北海道支所 (元 独立行政法人国際農林水産業研究センター林業部)

佐々木尚三

林業機械研究領域 造林機械研究室

遠藤利明・山田 健

独立行政法人 国際農林水産業研究センター

林業部 (元 独立行政法人森林総合研究所森林環境部)

野口正二

平成 11～13 年度合計予算額 16,331 千円

(うち、平成 13 年度予算額 5,187 千円)

[要旨]

本サブテーマでは、環境への影響の小さい熱帯天然林木材搬出技術を開発するための基礎データとして、集材路の作設問題と、土砂流出や表土劣化、植生回復などの因果関係を明らかにしようとするものである。調査対象地として 1999 年 12 月～2000 年 4 月に伐採の行われた半島マレーシア・セラシラン州・ブキタレ水文試験地を選定し、作業道・集材路の建設時の土砂流出要因（切取り土量と路側に堆積している土砂量）、集材終了後の路面からの浸食（路面浸食量・土砂が流出する位置、浸食流路と溪流との連結状態）さらに 2 年後の路面植生の回復状況を測定・調査した。

結果は、1)ブロック C3 内の作業道の長さは 529.5m、路面の総面積は 2067.8m²であった。また、集材路総土工量は、5162.3m³であり、1 m 当たりの平均値は 7.61 m³と、路面浸食と比較して膨大な値となる。路側に堆積された土量は、切取り法面側が 374.2 m³、盛側斜面には 2131.2 m³、合計 2505.3 m³となった。この結果は、集材路の作設に伴って発生した大量の不安定土砂のうち半量は、すでに溪流に流出していることを示唆している。2)集材作業終了後の路面浸食を、浸食跡（リル・ガリー）のサイズによって推定した結果、作業道 27.3 m³、ブルドーザ集材路上では 43.9 m³であった。この区間内に 25 カ所の流出地点（ノード）が観測され、そのうち 20 カ所からは土砂の流出が溪流まで直接つながっているのが見られた。集材路の路面傾斜と浸食量の関係は認められないが、斜面長さ・受水面の大きさと、浸食量には相関関係が認められた。3)車両の踏圧により土壌の締固めは、特に土場、作業道、幹線集材路で顕著であり、各切土の深さ 10cm では密度が 2～2.5 となっていて、限界近くまで締固められていると考えられた。そこでの気層容積はゼロに近いと考えられる。4)ブルドーザ集材路の作業後 2 年の植生回復状況は場所によって極端に違いが生じているが、植生による被覆 30% 以下の場所が、半分の距離を占めている。路面の斜面長さと植生被覆には相関関係が認められ、斜面が長い場所での植生回復は進んでいない。

これらの結果から、集運材作業道の計画設計においては、連続した長い登りなどや斜面をさける、路面に集まる集水面積を小さくするなど、特に路面上に地表水流が集まらないような配慮が求められ、伐採終了後は路面表面流による浸食を止めることによって、植生を回復させるような管理が必要であること、また切取り土砂を安定させ、流出ノード近くに不安定土砂を集積させないような作設工事が必要であること、が明らかになった。

[キーワード] 熱帯林、集材インパクト、集材路、土砂流出、路面浸食

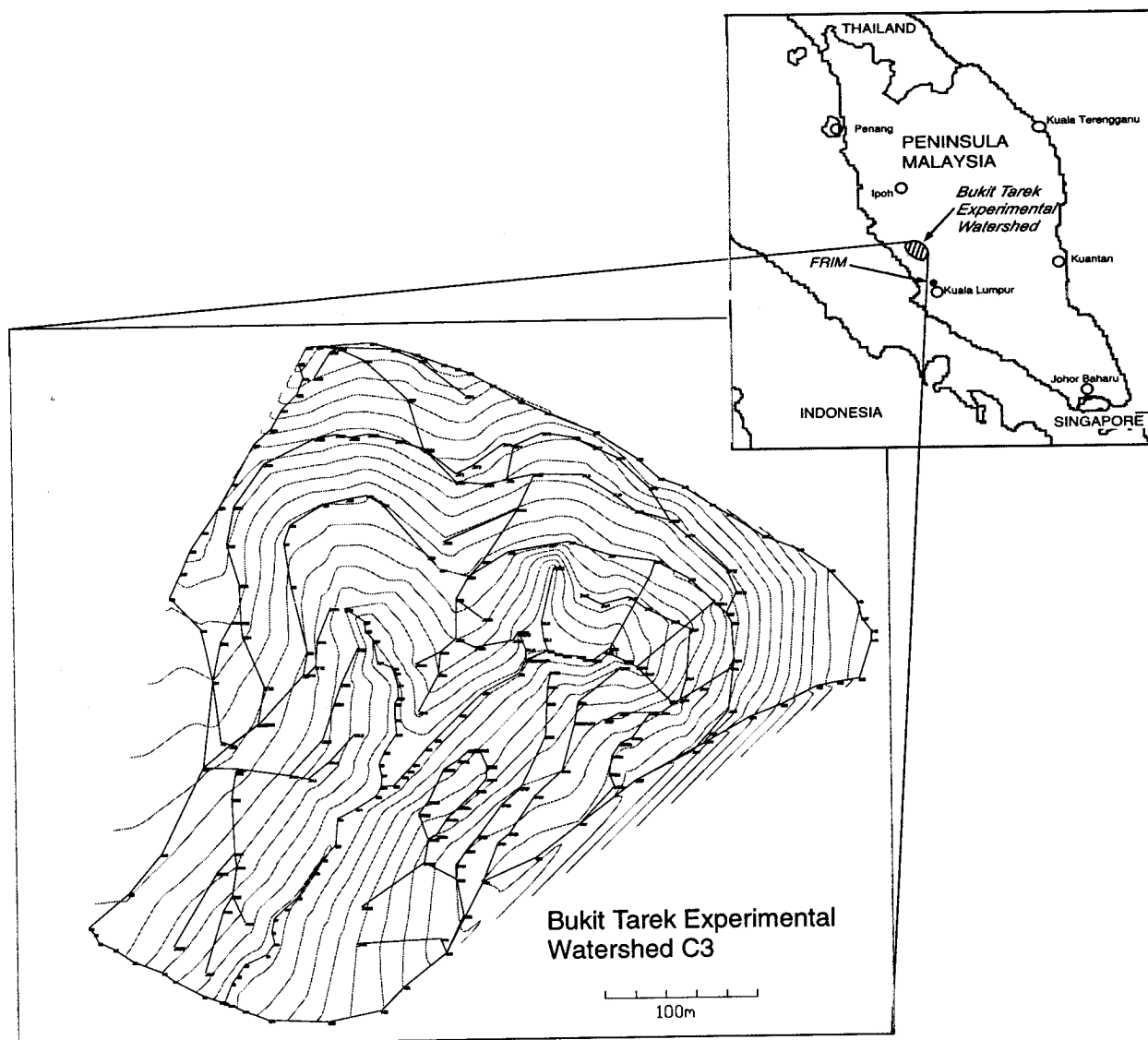
1. はじめに

熱帯林の急激な減少をくい止め、森林の公益的機能を重視する立場から、森林伐採は否定的に語られることが多い。森林を一気に消失させてしまうような開発型伐採は緊急に止めなければならないことはもちろんであるが、林業の一環として行われる伐採は、その後も森林を持続的に維持することを意図しており、現在の人間生活に不可欠な良質の資源である木材を供給していることも事実である。東南アジア各国でも、自国の森林資源として天然林の持続的有効利用を強く望んでおり、その伐採は今後とも続けられるであろう。従って熱帯林議論をより現実に即したものにするためには、森林が荒廃すると、森林の群落・生物など多様性にどのような影響があるかなどの科学的知見を得ること、またその社会経済的損失を評価することと同時に、伐採方法の違いが荒廃の度合いにどのように影響するか、環境に与える影響をできるだけ小さくする伐採方法はどのようなものか、といった技術的問題を扱い、木材伐採を今後どのように続けていくかの議論を続けることが欠かせないと考える。

熱帯降雨林に属するマレーシアの丘陵林では、フタバガキ等有用樹種が択伐方式によって伐採利用され、その後天然更新による持続的経営が図られている。しかしながら8?12本/ha伐採には、ほとんどの場合ブルドーザ集材が行われるため、本来の残されるべき後継稚樹が失われたり、森林環境が大きく破壊されて、持続的森林管理が危うくなることが危惧されている。特に近年の森林伐採は奥地化し、ブルドーザ作業には不適當な、急傾斜で複雑かつ不安定な地形条件の下で行われることが多くなっており、条件を度外視した効率第一主義の結果として、林道・作業道を長距離山腹に通したり、集材路や木材の集積場所を急斜面に高密度に作設することが多く見られるようになってきている。

集運材作業道や木材集積場の作設は、更新困難地や土壌の浸食の温床になりやすく、また環境インパクトが長期間にわたることから、大きな問題となりやすい。特にブルドーザ集材路は、適切な計画無しに作設されることも多く、傾斜地では路網密度とそれに伴う土工量が過剰になっていると考えられている。そのため安全性や効率性を損なわないで、環境に配慮された作業方法を開発することが、熱帯林管理の上で最重要な課題の一つとされており、それらに関する基礎的研究が必要である。このような背景のもとで、本研究では、これまで木材生産の持続性を中心に議論されてきた森林伐採の影響問題を、土砂流出防止などの公益的機能の持続性にも視点をおいて検討する。

半島マレーシア・セランゴール州のブキタレ水文試験地(図-1)は、1960年前半に択伐された天然更新中の二次林である。現在人工林への転換に伴う皆伐作業が進行しているが、その前段として、択伐方式による商業伐採が実施された。当試験地では伐採前の10年以上にわたって水文観測が行われており、更新した二次林からの水・土砂流出特性が把握されているが、伐採作業特に集材路の作設直後は大きな変化が生じている。今回の研究では、ブキタレ試験地の作業道・集材路作設に関して生じた切り取り土工量と路側に堆積している土砂量、攪乱部の土壌物理性集材後の路面からの浸食、土砂が路外に流出する位置(ノード)、さらに2年後の路面植生の回復状況を測定・調査し、土砂流出や表土劣化、植生回復などとの因果関係を明らかにしようとするものである。



図一 調査地：ブキタレ水文試験地の位置と測量によって作成した地形図

2. 研究目的

本サブテーマでは、環境への影響の小さい熱帯天然林木材搬出技術を開発するための基礎データとして、集材作業の中で特に環境影響の大きいと考えられる作業道・集材路作設の問題を扱う。これらの一時的道路の建設によって引き起こされる土砂流出要因、集材終了後の路面からの浸食、さらに2年後の路面植生の回復状況を測定・調査する。土砂流出要因としては、道路建設に伴う切取り土工量と路側に堆積している土砂量、集材終了後の浸食については、路面の浸食量と、その浸食土砂が路外に流出する位置の分布、浸食流路と溪流との連結状態、また路面植生は道路の状態との関係を測定・調査する。これらの検討により、道路の仕様が林地劣化や溪流へどのような影響を与えるかの因果関係を明らかにし、森林の多様性・公益性にも重点をおいた持続的管理を可能にする木材搬出方法の改善方法を開発するための基礎資料とする。

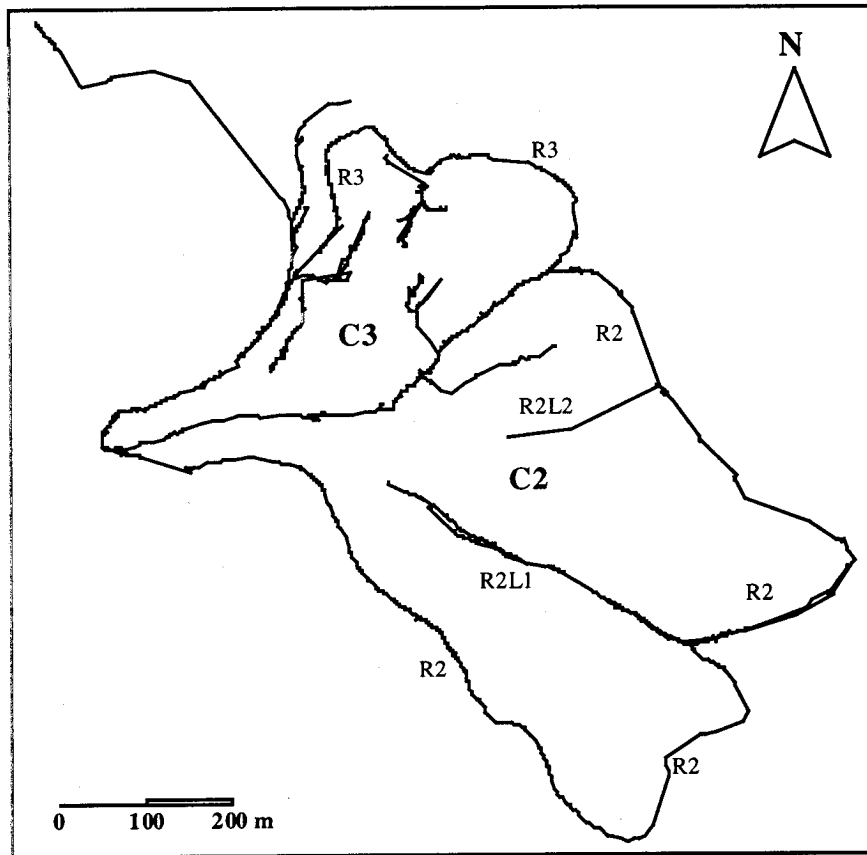


図-2 ブキタレ水文試験地の伐採作業で作設された作業道

3. 研究方法

(1) 集材路作設に伴う土砂流出量の検討

マレーシア地図局発行の 1/50000 地形図は、本目的には精度が十分ではないので、調査に先立ちすべての溪流と尾根をレーザー測量コンパスを使用してトラバース測量を行い、地形図を作成した（図-1）。また集材作業期間中は、作業道・集材路・土場の作設進捗状況と、それに続く搬出作業状況を観測した。

ここで作業道とは、専用木材運搬車両やトレーラなどの集材用車両が走行するために林地に作設した路網を、集材路は、ブルドーザが木材をトレーラなどに積み替える作業場（土場）まで集材するために作られる路線である。集材路は木材搬出用に一時的に作設されることが多いため、道路の基準が低く、切り取り土砂は路側に不安定な状態で積み上げられることが多い。ブキタレ試験地の集材路も側溝や横断溝、盛土工路面等が設置されなくて、単純な切取工で作設されている。この集材路等の土工と土壌浸食の関係を知るために、C3の作業道を対象に、道路の作設距離、路面幅、路面傾斜、切り取り土砂量、切り取り土砂堆積量、沢筋からの距離を測量し、土工量と路側の土砂堆積量の推定を試みた。横断測量の間隔は、地形や切り取り法面の変化から定めたものであり、7.2~28m の間隔となった。

(2)路面浸食と浸食経路の水系との連結性

ブロックC3を対象に、集材作業の終了した作業道路面のリル・ガリー（水流によって、路面が浸食された溝）のサイズ・位置・長さ等を測量し、地図上に記載した。これらのデータを、上記で作成した地図上の位置から読みとった路面の縦断・横断方向の傾斜、集水斜面の長さ・大きさなどと比較し、関係を調べた。リル・ガリーのサイズは5m間隔に、断面を三角または台形として測定した。またリル・ガリーが路外に流出する地点（ノード）の位置と、ノードから水系までの土砂運搬・浸食経路を測量し、その連続性を調べた。

(3)土壌劣化

ブロックC2内に以下の調査区（攪乱が大きいと思われる順に、土場、作業道、幹線集材路、支線集材路、伐倒木による攪乱跡地、対照区としての自然林地）を設定した。集材路は、伐採現場から土場に至る主要な路線である幹線と、幹線より枝分かれして特定の伐倒木を搬出するために林地に分け入る支線に分類した。幹線集材路と支線集材路ではブルドーザの走行回数が大きく異なるほか、支線はしばしば表土の掘削を伴わずブルドーザが林地を直接走行することがあるが、今回の調査地では地表面が剥取られていた。伐倒木による攪乱跡地については、トレンガヌ州における伐採インパクトの調査で伐倒木の打撃を受ける林地面積割合が予想外に大きいという結果が得られたので、調査区に含めた。自然林地については、中腹と尾根筋の2ヶ所で調査を行った。さらに、土場、作業道、幹線集材路は斜面中腹を掘削して作設したものであったので、切土部分と盛土部分の双方について調査を行った。これらの対象地の深さ0、10、20cmの土壌を100ccの採土管に採取し、密度、含水率を測定した。1対象地、1つの深さあたり、3サンプルを採取し、その平均値を代表値とした。また、自然林地の表層から深さ5cmおきに50cmまで土壌を採取し、C、N含有率を測定して深さとの関係を調べた。各調査区の表土のC、N含有率の値を測定し、自然林地の深さ-C、N含有率曲線と比較対照した。

(4)集材路面の植生回復

集材作業が終了し、集材路が放置されてから、およそ2年間が経過した現在、集材路面の植生は急激に回復する傾向が現れている。これは、路面上の浸食が進む一方、緩傾斜路面では浸食で運搬された表土が蓄積され、植生が回復する一定の条件を満たし始めていることを表している。それらの路面の状態と植生回復の度合いを調査し、植生の回復する条件を、ブロックC3を対象に、以下のように調査した。1)集材路を傾斜、路幅、路面状況、回復の度合いなどから区間に分ける、2)区間内の路面上のすべての回復樹種、樹高を記録する、3)路面の被覆状況を記録する、4)区間を測量し、地図上に記載する。

4. 結果・考察

(1) 集材路作設に伴う土砂流出量の検討

①集材路の作設と作業状況の調査

ブキタレ水文試験地ブロックC2・3では1999年11月～2000年3月にかけて伐採が実施され、それに伴う集材路の作設が行われた（図-2）。測量の結果、対象地の面積は、C2（バッファゾーン有り）32.2ha、C3（バッファゾーン無し）12.4haであり、合計は46.6haであった。地図上に

林道・集材路の線形を記載した。集材路の総延長距離と路網密度は作業道 2229m、47.1m/ha（内 C3では529.5m）、ブルドーザ集材路 5257m、112.8m/haであった。この現場は将来皆伐が予定されていることもあり、ブルドーザ集材路の作設が無計画に行われ、特に急な斜面の一部では、集材路密度が高くなる傾向が見られた。林道の作設工事は先行したC3で20日間、C2では30日間を要した。いずれもブルドーザ1台のみの工事であり、1日の稼働時間も一定ではなかった。集材作業は、ブルドーザ集材路の作設と同時に並行して行われた。C3では5つの、C2は10のサブブロック毎に作業が行われ、それぞれ378日間程度で終了している。

溪流の両側30mにバッファゾーンを設けたC2とバッファゾーンを持たないC3の土砂流出量は量水堰の堆積土砂量で目視観察した結果は、C3では作業開始直後から大量の堆積が認められているのに対し、C2では堆積少なく、両者に明白な差が現れた。この土砂堆積データは、同時期にカウンターパート機関であるFRIMによって計測されており、作業記録と時系列で比較することで、流域内の集材規模と溪流への影響を検討することになっている。

②土工量と切り取り土砂の堆積量

斜面上に作設される集材路の作設に要する土工量は、傾斜に従って急激に増加し、それらの土砂は斜面に止まりにくいいため、溪流への流出が大きな問題になる。斜面上に作設されたC3の作業道を対象に、横断測量結果から総土工量の推定を行った(図-3)。ここに路線および横断測量結果から求めた幹線集材路の長さは529.5m、路面の総面積は2067.8m²であった。集材路密度は、42.7m/ha、路面

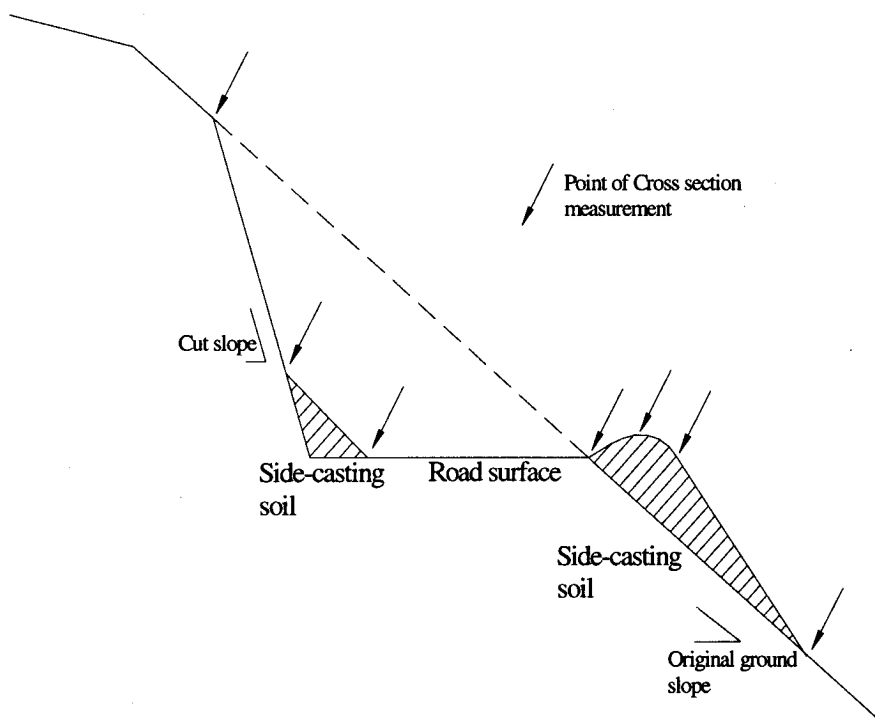


図-3 横断測量による作業道の切取土工量および堆積土量の測定

(路側部分と法面を除く)はC3(全集材面積)の1.7%を占めている。

結果を表-1に示す。斜面上集材路の総土工量は、5162.3m³となった。1m当たりの平均値は

7.61 m³ と、膨大な値となる。また路側に堆積された土量は、切取り法面側が 374.2 m³、盛側斜面には 2131.2 m³、合計 2505.3 m³ となった。

表-1 集材路の総土工量・路側に堆積された土量
Soil volume measured by cross section survey

総切取り土工量 Total cut volume (m ³)	路側に堆積された土量 (m ³) Total volume of side-casting	
	切取り側堆積土量 Cast volume at cut side (m ³)	盛土側堆積土量 Cast volume at fill side (m ³)
	2505.3	
5162.3	374.2	2131.2

表-2 ブロック C3 における路面浸食跡 (リル・ガリー) の測定結果

Summary of rill/gully erosion in C3

	浸食跡長さ Length of rill/gully		浸食量 Erosion from rill/gully	
	浸食跡長 Length (km)	1 km 当たり浸食量 Length per km (km/km)	浸食量 Erosion (m ³)	1 km 当たり浸食量 Erosion per km (m ³ /km)
	作業道 Logging road	0.68	1.28	23.1
集材路 Skid trail	0.54	1.07	17.2	34.3
土場 Landing	0.17	-	4.2	-
接続道路 Approach road	0.11	-	2.9	-

この結果は、集材路の作設に伴って発生した大量の不安定土砂のうち半量は、すでに溪流に流出していることを示唆している。また、路側に残っている量についても、多くが不安定な盛側斜面上にあり、まとまった雨によって移動、流出する可能性が高いと思われる。今後の土砂移動を注意深く観測する必要がある。一方、切取りのみを考慮した単純計算によると、総土工量は斜面の傾斜に従って急激に増加し、斜面 27° のときに上記実測による推定値が当てはまる。これは現地の地形条件からは妥当な結果であるが、一般性についてはさらに確認する必要がある。

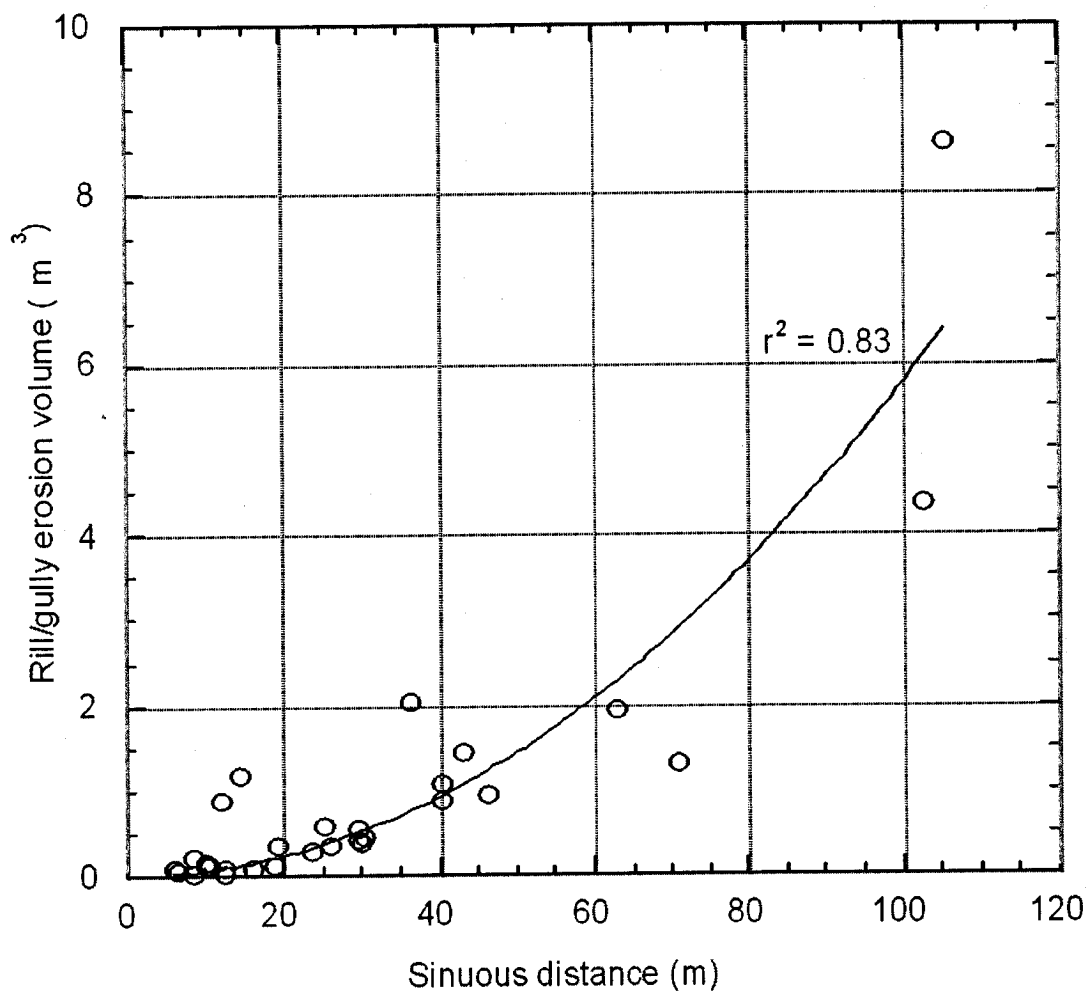


図-4 浸食跡の長さ（路面の斜面長とほぼ一致する）と浸食の大きさの関係

(2)路面浸食と浸食経路の水系との連結性

ブロックC3における集材作業終了後の浸食跡（リル・ガリー）による路面浸食の調査結果を表-2に示す。ここに作業道上の浸食跡はすべて表示しているが、集材路については一部のデータのみの表示になっている。浸食跡の長さは作業道・集材路ともに路線長より長くなっている。このことから、ほとんどすべての路面上に浸食跡があり、ところによっては複数の浸食を受けていることがわかる。

浸食量は、作業道 23.1 m^3 ($33.6 \text{ m}^3/\text{km}$)、集材路上では 17.2 m^3 ($34.3 \text{ m}^3/\text{km}$) であった。この値は上記で検討した切り取り土砂量 (5162.3 m^3 : $7610 \text{ m}^3/\text{km}$) と比較すると、非常に小さい値であるが、土工量は道路作設時に生じた不安定土砂量であるのに対して、路面の浸食跡は道路建設時から現在まで継続する路面浸食状況を表しており、また土砂運搬の主要な経路にもなっていることから、土壌浸食の程度を示す重要な情報と考えられる。

作業道の条件と浸食跡の関係を検討した結果、当初影響が大きいと予想された路面傾斜は浸食の大きさと直接の関係が認められなかった。その反面、斜面長さ・受水面の大きさなど路面を流れる表面水の量に関係すると考えられる条件は、ガリーのサイズすなわち浸食量との関係が明確に認められた。図-4は浸食跡の長さ（路面斜面長とほぼ一致する）と浸食の大きさの関係を示している。この

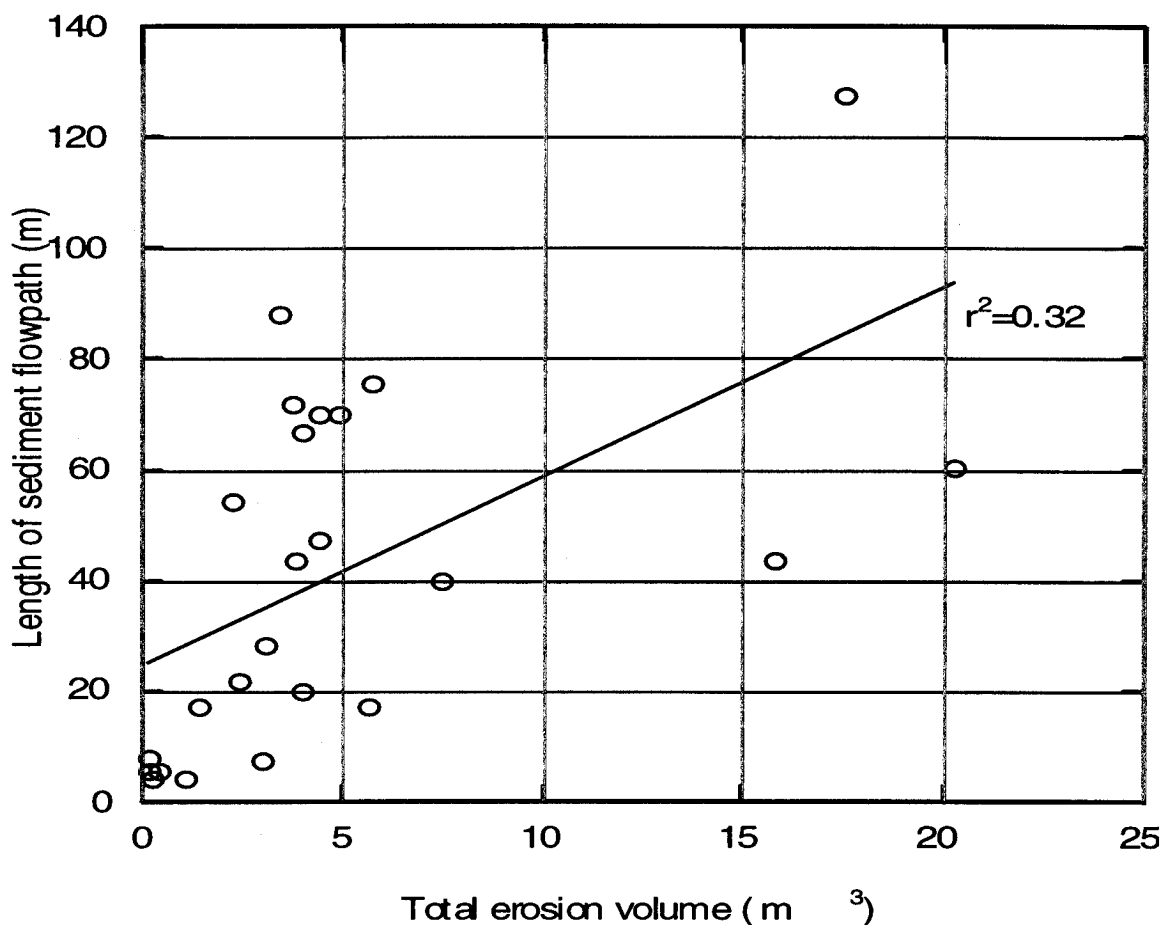


図-5 浸食跡の浸食量と流出地点から水系までの土砂運搬経路の距離の関係

2次元関係は、浸食跡はその延長長さが長くなるにつれて、幅・深さも大きくなることを表している。

この区間内に 25 カ所の流出地点（ノード）が観測された。降雨時などにはそれぞれの流出地点から溪流に向かって水流が現れ、浸食された土砂が運ばれる経路として働く。図-5に浸食跡の浸食量と流出地点から水系までの土砂運搬経路の距離の関係を示す。この距離が長ければ土砂の運搬力が強く、水系まで到達してしまう土砂量が多くなると考えられる。この結果は、すでに予想したとおり、路面浸食の大きさが浸食による土砂運搬力の強さを表すことを裏付けている。20 カ所のノードからは土砂の流出が水系まで直接つながっているのが見られた。

(3)土壌劣化

伐採作業による林地表土の圧密状態を表すため、土壌の密度測定を行った。結果を図-6に示す。密度順に並べると、0、10cm 層では作業道、幹線集材路、土場、支線集材路、伐倒木による攪乱跡地、自然林地、20cm 層では土場が最上位に上がってほかは 0、10cm 層と同順となる。また、切土、盛土別に調査したところでは、幹線集材路の 10cm 層を除いて全て切土側の方が密度が大きい。切土側では深さ 10cm で最も密度が大きくなっていたが、盛土側では深さと密度の関係に一貫した傾向は見られなかった。もともと堅密な土壌では車両の踏圧が 10cm 付近の層に強く影響したのに対し、寄せ集めた土壌から成る盛土側では踏圧の影響層が一定しなかったのではないかと考えられる。固相の真比重は測定できなかったが、今回測定したサンプルのうち固相と気相を合わせた比重の最大値は 2.61 で、これは粘土の比重 2.65 に近く、気相の容積はほとんどゼロであると考えられる。固相の

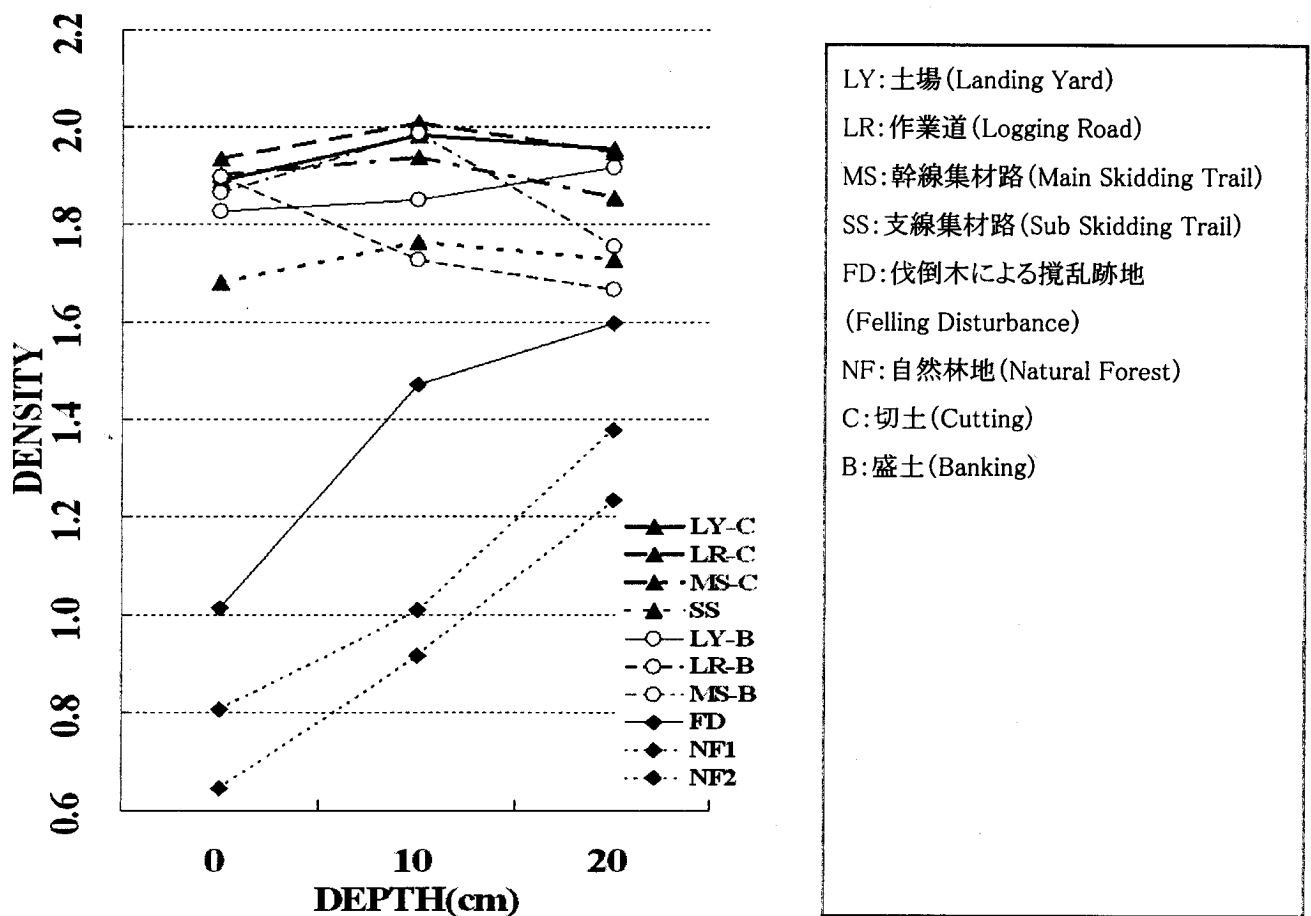


図-6 伐採作業により圧密された林地表土土壌の密度

真

比重を 2.65 として三相比を計算すると、気相の容積は幹線集材路、作業道、土場の切土側では全て 10%以下となる（図-7）。また、今回の調査を行ったのがしばらく晴天が続いた後であったことを考慮すると、土壌水分はほとんど流動性のない停滞水であると考えられる。従って、これらの土壌は限界まで締固め

られており、浸透能がほとんどなく、降水はすべて表面流となることが推測される。路面侵食、土砂出が危惧されるが、実際に路面に侵食跡が見られた。なお、自然林地など表層に有機質土壌があるところでは、固相の真比重の推定が困難なので、三相比については検討しなかった。

自然林地の深さ毎の C、N 含有率、および各調査区の表土の C、N 含有率を図-8 に示す。土場、作業道、集材路はいずれも表層土壌の有機物含有量が少なく、自然林地の心土に近い値を示すが、その中では支線集材路の値が比較的高く、やや表土よりの値を示す。このことは、表土の掘削深を反映しているものと考えられる。伐倒木による攪乱跡地では C、N 含有率は自然林地の表土と変わらず、伐倒により締固められたものの表土の移動は生じなかったと見られる。

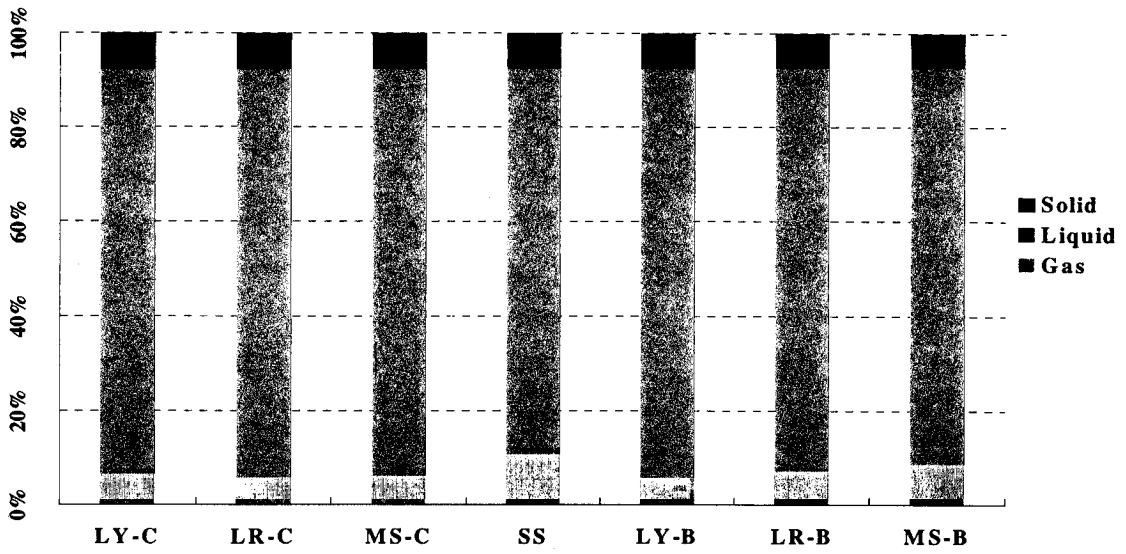


図-7 伐採作業により攪乱を受けた土壌の三相比 (固相の真比重を 2.65 とする)
(凡例は図-6を参照)

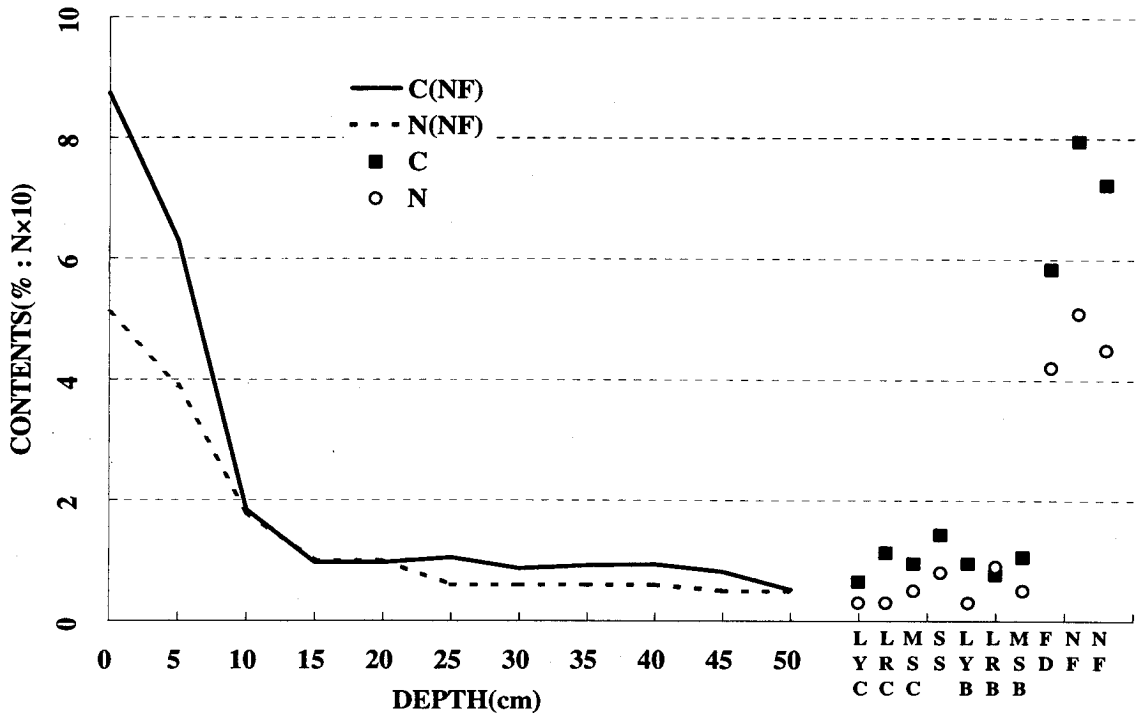


図-8 自然林地の深さ毎のC、N含有率、および伐採作業により攪乱を受けた
土壌表土のC、N含有率 (凡例は図-6を参照)

(4)集材路面の植生回復

図-9は集材路路面の植生による被覆割合を高、中、低の3区分して地図上に示したものである。同じ時期に同程度に使われた集材路であるが、回復状況は場所によって大きく異なり、歩行が困難なほど樹木で覆われている場所、全く裸地のまま浸食が進んでいる場所など、極端に違いが生じていることが示されている。植生の回復が進んでいる場所（80%以上）は、集材路の末端に多く、また短い距離の部分が分散していることが多い。このことからブルドーザの走行頻度が少ない支線集材路の回復は比較的早いと考えられる。これらの場所はまた、路面浸食が少ない場所でもあった。図-10は被覆割合と総延長の割合で示している。植生による被覆がまだ30%以下の場所が、半分の距離を占めている。

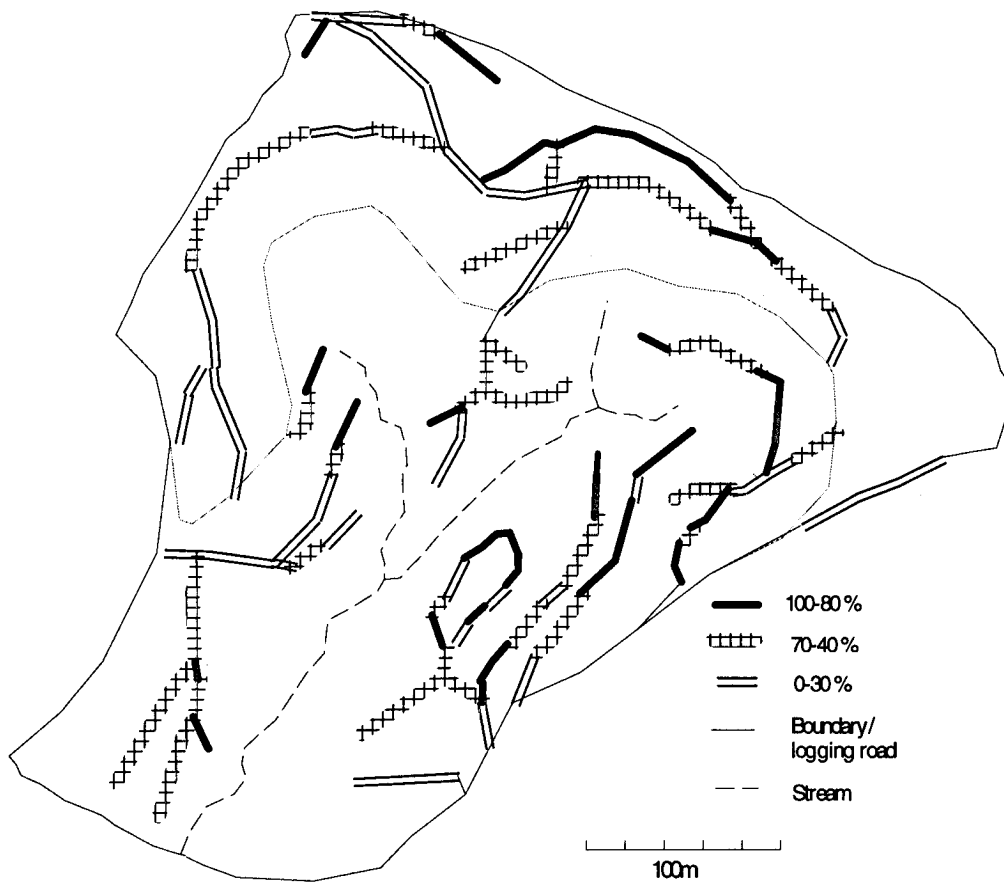


図-9 集材路面の植生回復（植生による被覆割合を高、中、低の3区分して地図上に示した）

路面状況と回復割合の関係を検討した結果、路面浸食跡（リル・ガリー）の発生状況と同様に、路面傾斜との明確な関係は示されなかった。また、路面の日照時間（水分条件）に関係すると思われる路面方向にも、はっきりした関係は表れなかった。路面の斜面長さや植生被覆の関係には、相関関

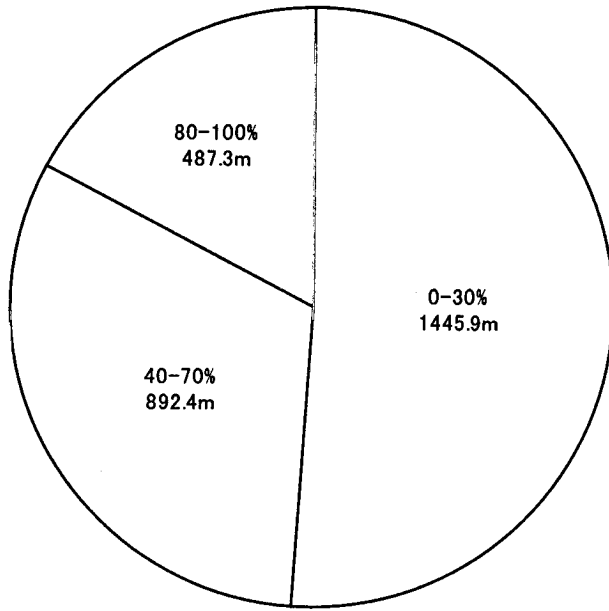


図-10 集材路面の植生回復（被覆度合いと集材路延長距離の割合）

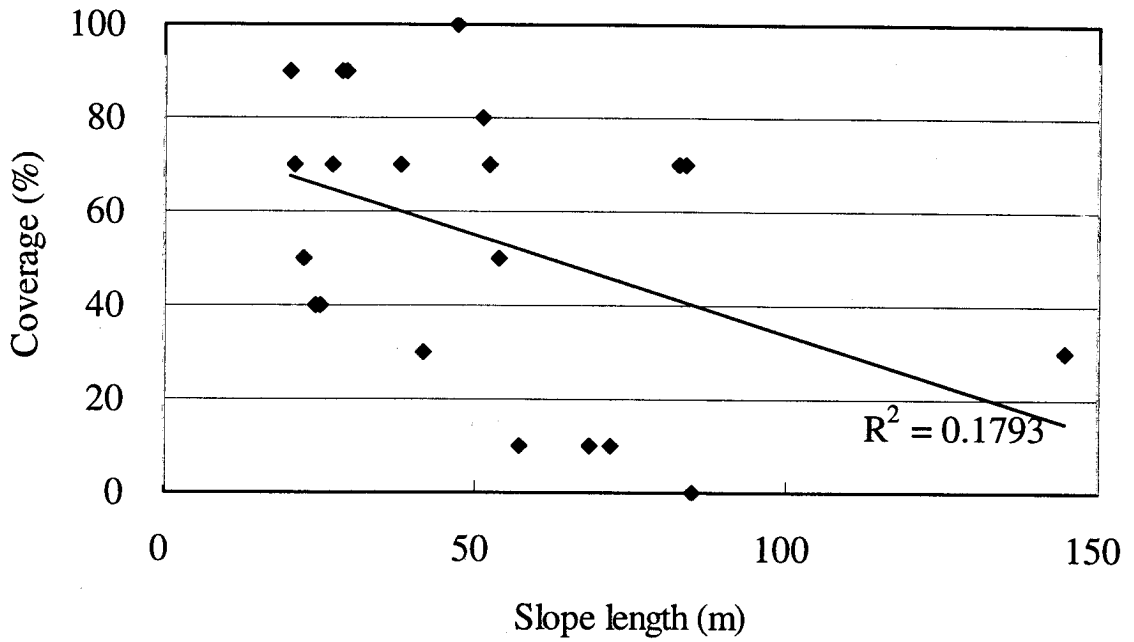


図-11 集材路面の植生回復（路面の斜面長さと植生被覆の関係）

係 ($r_2=0.1793$) が認められた (図-11)。このことは前回の調査で明らかにした、斜面長さと同路面浸食量に関係があったことと一致した。また、回復の進んでいない箇所では、路面に降雨時には路面水流があることを表す証拠が多く見られた。このことから集材路面の植生回復は、路面浸食と関係が深く、浸食が少ないところでは比較的速やかに植生が回復することが推定される。

そのため安全性や効率を損なわないで、環境に配慮された作業方法を開発することが、最重要な課題の一つとされており、それらに関する基礎的研究が必要である。このような背景のもとで、本研究では、これまで木材生産の持続性を中心に議論されてきた森林伐採インパクトの問題を、公益的機能の持続性にも視点をおいて検討する。

5. 本研究により得られた成果

熱帯林管理の上でブルドーザを使用する集材作業は、次代の更新を困難し、また土砂流出や土壌劣化、河川を汚すなど、環境に対する影響が長期間にわたることから、大きな問題とされている。特に低規格の一時的集材作業道や木材集積場は、適切な計画無しに作設されることが多く、傾斜地では路網密度とそれに伴う土工量が過剰になっていると考えられているが、これらの問題を数量的に明らかにしている例は非常に少ない。伐採方法に関する研究では、効率追求一辺倒から、資源の持続性に関する視点が現れてきているが、今後はさらに公益的機能の持続性にも視点をおいた検討が必要になっている。本研究ではこのような視点から、集材路作設の問題について以下のことを明らかにした。

1) 作業道を斜面に作設することによる土工量 (切取り土量) を推定し、路面浸食と比較して膨大な値となることを示した。またこの値は斜面の平均傾斜から計算で求められることがわかった。路側に堆積された土量は、土工量の半分程度にとどまり、作業道の作設に伴って発生した大量の不安定土砂のうち半量は、溪流に流出していること推定された。

2) 集材作業終了後の路面浸食を、リル・ガリーのサイズによって推定した。この値は切取り土砂量と比較すると非常に小さい値であるが、路面浸食の継続的指標であり、土砂運搬の主要な経路でもある。浸食の大きさに直接関係する路面条件は、路面傾斜ではなく、斜面長さ・受水面の大きさであった。また路面浸食の大きさが、路外での土砂運搬力の強さを表すことがあきらかになった。

3) 車両の踏圧により土壌の締固めは、特に土場、作業道、幹線集材路で顕著であり、各切土の深さ 10cm では密度が 2~2.5 となっていて、限界近くまで締固められていると考えられた。そこでの気層容積はゼロに近いと考えられる。

4) ブルドーザ集材路の、2年後の植生回復状況は場所によって極端に違いが生じているが、植生による被覆 30% 以下の場所が、半分の距離を占めている。路面の斜面長さと同植生被覆には相関関係が認められ、斜面が長い場所での植生回復は進んでいない。

5) 水文試験地内で実施された伐採に関して、その集材路の作設や木材搬出の進行状況を時系列にモニターしたデータを提供することができる。FRIM が計測を実施している量水試験データや水質・土壌浸食データと比較が可能になり、伐採が流域に与えるインパクトを定量できる。

以上のような結果から、集材作業道は、降雨時に路面上に地表水流が集まらないような設計 (連続した長い登り・長い斜面をさける、路面に集まる集水面積を小さくする) が求められ、伐採後は、路面表面流による浸食を止めることによって、植生を回復させるような管理が必要である。また作設工事では、切取り土砂を安定させること、特に流出ノード近くに不安定土砂を集積させないことなどの配慮が必要である。

6. 国際共同研究等の状況

マレーシアでは熱帯林の持続的管理の必要性から低インパクト集材技術の開発を、最上位レベルの国家目標にまで記載して、実現を急いでいる。この目標のもとに筆者らは、FRIM との共同研究として、伐採後の森林更新を損なわないような低インパクトの伐採方法の開発研究を別テーマで96年度から実施している。今回の研究ではこの問題を、これまで十分でなかった土砂流出などの公益的機能の観点からの取り組みを重視して、基礎データを集積し、森林伐採のガイドラインを示すことを目的としている。

7. 研究成果の発表状況

(1)誌上発表 (学術雑誌)

①Sediment Pathways in a Tropical Forest: Effects of Logging Roads and Skid Trails, R.Sidle, S.Sasaki, M.Otsuki, S.Noguchi, & Baharuddin K., *Geomorphology*(in press).

(2)口頭発表

①T. Yamada, S. Sasaki : Proceedings of Meeting on Harvesting and Regeneration Techniques for Tropical Rain Forest (JIRCAS - FRIM - JFES Research Meeting)(1999): "Soil Disturbance Caused by Forest Operations"

②Ahmad S., S. Sasaki, Baharuddin K., Adnan A. : Abstract of Meeting on Harvesting and Regeneration Techniques for Tropical Rain Forest (JIRCAS - FRIM - JFES Research Meeting)(1999): "Planning Timber Harvests: a Global Positioning System (GPS) and Geographic Information System (GIS) Approach"

③山田健、第111回日本林学会大会学術講演集(2000)、p455、「車両の踏圧が立木の根系に与える影響 ?模型を用いた試験?」

④Impacts of Tractor and Cable logging Systems in Dipterocarp Forests of Peninsular Malaysia, IUFRO 2000, 9 aug 2000, Kuala Lumpur Malaysia

⑤マレーシア熱帯丘陵林における択伐作業のインパクト, 佐々木尚三、山田健、Farid R., Ahmad S., 林学会大会講演, 2001年4月

⑥Sidle, R., Sasaki,S., Otsuki,M., Noguchi,S., Baharuddin,K., Sediment Pathways in a Tropical Forest: Effects of Logging Roads and Skid Trails, Abstract of 5th International Conference on Geomorphology, Tokyo, August 23-28, 2001

⑦Otsuki, M., Sidle,R., Sasaki,S., & Rahim N. (2001), Connectivity of Erosion on the Logging Road to the stream, Abstract of International Conference on Forestry and Forest Products Research, 1-3 October 2001, Kuala Lumpur

(3)出願特許

なし

(4)受賞等

なし

(5)一般への公表・報道等

①熱帯林の伐採とその問題点-マレーシアの事例から- 熱帯林業 49号 2000年9月

(6) その他成果の普及、政策的な寄与・貢献について

今回得られ成果をもとに、現在世界的レベルで普及が図られつつある森林認証基準 (FSC, ISO14001 など) にむけて新たな施業管理基準、指標などが提案できる。これらはミレニアムエコシステムプラン (MA) などにも将来的には応用可能である。

8. 参考文献

- 1) Ahmad, S. (2000) Harvesting Management and Hydrological Impacts of Forest Environment: Case Study from Bukit Tarek Experimental Watershed., (Unpublished paper)
- 2) Farid, A. R. (2000) Fieldwork Report Block C3, Bukit Tarek Forest Reserve, Kerling, Selangor, 30 October 2 November, 2000, (Unpublished paper)
- 3) Forestry Department of Peninsular Malaysia (1998) Specification for Forest Road in Peninsular Malaysia 1998, English translation by Farid, A. R.
- 4) Otsuki, M. (2001) Connectivity of Erosion on the logging road to the stream: Bukit Tarek Catchment, Peninsular Malaysia, Honours thesis, National University of Singapore
- 5) Saifuddin, S., Abdul Rahim, N., Abdul Rashid, M.F., (1991). Establishment and Physical Characteristics of Bukit Tarek Watershed. Research Pamphlet No. 110. Forest Research Institute Malaysia.