

公益社団法人国土緑化推進機構

「緑と水の森林基金」事業助成

急傾斜林地における高能率作業システムに
関する調査研究

平成 28 年度報告書

平成 29 年 6 月

公益社団法人 森林保全・管理技術研究所

目 次

第1章 森林・林業と地形区分	1
第1節 森林・林業について.....	1
第2節 森林の林地地形について	5
第1項 わが国の森林地域の地形特性.....	5
第2項 森林利用学的地形区分	6
第3項 諸外国の林地地形区分法.....	7
第3節 GISを用いた森林地形の分析、区分.....	11
第1項 GIS(数値地形モデル)からの地形の表現.....	12
第2項 GIS(数値地形モデル)による地形指数の推定	14
第4節 森林整備計画のためのGISによる森林地形区分	17
第1項 概要.....	17
第2項 利用するデータ	19
第3項 地形区分.....	20
第4項 路網計画への展開	25
第2章 急傾斜林地での高能率作業システム	27
第1節 急傾斜林地での車両系作業システムと路網整備	27
第1項 高能率作業システムと路網整備	27
第2項 高性能林業機械による作業システム適用手順.....	29
第2節 急傾斜林地での車輛系作業システム.....	33
第1項 作業システムの概要.....	33
第2項 各事業体のコストの現状と作業システムの問題点.....	41
第3項 今後の課題.....	41
第3節 急傾斜林地での高能率架線系作業システム	42
第1項 最近の架線系機械の技術革新.....	42
第2項 H型架線を主体とした作業システム.....	47
第3項 今後の課題.....	56
第4節 急傾斜林地での次世代タワーヤーダシステム.....	57
第1項 スマートフォレストリーの展開において.....	57
第2項 次世代タワーヤーダシステムにおける情報化作業.....	65
第5節 急傾斜林地での次世代高能率作業システムと木材生産.....	77
第1項 木材生産の現状.....	77
第2項 次世代高能率作業システムの生産費用.....	79
第3項 作業システムの生産費用の計算例.....	81
第4項 年間事業量と作業システム	83

第 5 項	急傾斜地における次世代高能率作業システムとコスト	84
第 3 章	急傾斜林地での次世代作業システムと森林基盤整備	88
第 1 節	次世代高能率作業システムと森林基盤整備	88
第 1 項	概要	88
第 2 項	平坦地形型の次世代作業システムと路網	89
第 3 項	緩傾斜地型の次世代作業システムと路網	90
第 4 項	中急傾斜地形型における次世代作業システムと路網	91
第 5 項	中傾斜地形型における次世代作業システムと路網	92
第 6 項	次世代タワーヤーダを用いた事業例	93
第 2 節	急傾斜林地での森林基盤整備計画への展開	94
第 1 項	概要	94
第 2 項	計画に必要な因子	95
第 3 項	計画策定の流れ	98
第 3 節	急傾斜林地での森林基盤整備の測量設計	108
第 1 項	急傾斜林地における路網整備の考え方	108
第 2 項	急傾斜林地での森林基盤整備の測量設計における留意事項	111
第 3 項	今後の課題	120
第 4 節	急傾斜林地における大面積皆伐	123
第 1 項	兵庫県朝来市	123
第 2 項	和歌山県熊野市等	125
第 3 項	高知県大豊町及び香南市	131
おわりに	138

第1章 森林・林業と地形区分

第1節 森林・林業について

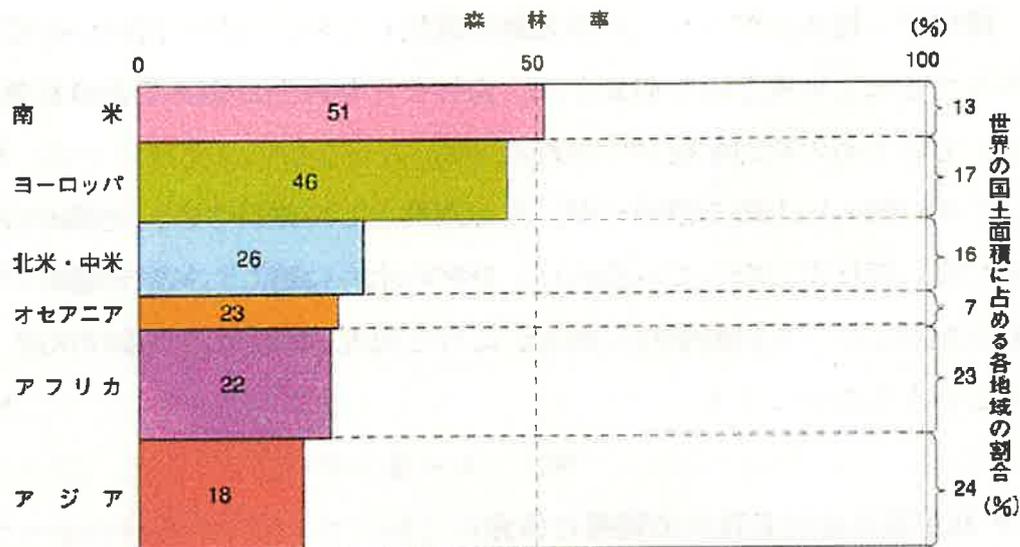
森林に対するさまざまな要求にこたえるためには、森林の公益的機能が発揮される状態を保ちながら木材の利用を行い森林資源の持続的利用を図るという林業の基本的な考えをいっそう徹底し、適正な収穫を行う必要がある。近年の林業に対する厳しい経済情勢の中で森林の公益機能を損なうことなく木材生産を経済的に行うということはかなりの至難なことである。

地球上はどのくらいの森林があるか、過去にはどのくらいあったかまた将来はどうかといった考察をする。FAO(国連農業機構)の資料によると、世界の森林面積は約40億ha、陸地面積の30%である。森林率が高い国は、フィンランド、スウェーデンの北欧、ブラジル、アジアのインドネシア、マレーシアと韓国、日本である。他のヨーロッパ、北米諸国ではほぼ25%前後である。ロシアの森林率が開発により減少している。中国の森林率が17%と低く近年植林活動を続けている。イギリスは11.6%となっているが嘗ては約9%であったのが国の努力によって増加した結果である。これらはその国家の森林政策による結果である。東南アジア、南米、シベリアといったところの森林の開発による減少が問題となっているところである。

図1-1は、世界の地域別の森林率を示した。アジアは全体で18%と低くなっている。FAO(国連食糧農業機関)が1999年10月に公表した「世界森林白書」によると、1995年現在の世界の森林面積は約40億haであり、全陸地面積の約30%を占めている。森林は特に熱帯地域の開発途上国の森林を中心に減少・劣化を続けており、熱帯林は1980年から10年の間に1億5,400万ha減少した。これは日本の面積の4倍に当たる。1980年から95年の全森林面積は約1億8,000万ha減少している。さらに、1990年から1995年にかけて世界の森林面積は、総計5,635万ha減少した。年間平均の減少面積は約1,130万ha、年間の平均減少率は0.3%である。途上国では1990年から95年にかけて6,500万ha以上の森林が消失している。東南アジアの大陸部で年間減少率が1.6%、島部で1.3%と減少率が著しい。この期間、最も森林の減少面積が大きかったのはブラジルで、1,277万ha、次いでインドネシア542万ha、次いで旧ザイール、ボリビア、メキシコとなっている。

1996年、世界森林保全モニタリングセンターが行った分析によると、世界の森林面積40億haのうち、北米、ロシア、南米には他地域よりも多くの森林が分布し、この地域の森林面積の合計は25億haであり、他地域の合計よりも多い。同じ調査によると、この研究で使われた25の森林タイプのうち、最も大きい面積を占めるのが非熱帯常緑針葉樹林である。次いで、熱帯低地雨林、そして非熱帯落葉広葉樹林及び非熱帯落葉針葉樹林の面積が大きい。

1997年10月発表された、WWF(世界自然保護基金)及びWMC(世界自然保護モニタリングセンター)の森林減少に関する共同調査によると、8千年前に存在した世界の自然林、約3分の2が消失しており、うち最も自然林の減少が進んでいるのはアジア・太平洋地域である。本来の自然林であったうちの88%が既に失われているとされている。残っている自然林のうち、保護地域に指定されているのはわずか6%(IUCNの保護地域カテゴリーのI~III)であり、このまま森林の減少が進行すれば、50年後には森林が全く消滅してしまうという。



資料：FAO「State of the World's Forests 2001」

注：1) 2000年の値である。

2) 縦軸は、世界の国土面積に占める各地域の割合である。

3) 森林率は、国土面積に占める森林面積の割合である。

4) 全世界平均の森林率は30%である。

図 1-1 世界の地域別森林率 (FAO 資料)

森林破壊の歴史は人間文明がはじまって以来、進行しており、人類の拡散と同時に少しずつ森林が失われていった。特にヨーロッパやアジア地域の比較的早く開けた地域では、ほとんど原始的な森林は残っていない。低緯度地域の熱帯雨林と高緯度地域の北方林の多くは比較的最近まで原始的な状態を保ってきたが、この20年から30年ほどの間に加速的な崩壊が目立つようになった。

我が国の森林率は約67%と変わっていない。各内容について示したのが表1-1である。全体の森林面積は2500万ha、人工林が約1000万ha(40%)となっている。蓄積は50億m³、人工林が23億m³と増え続けている。所有別を見ると1700万ha(68%)が民有林、780万ha(42%)が国有林と公有林である。

現在の木材消費量からすると年間約8000万m³ずつ増加していると言われる。自給率も最近では回復しつつも30%弱に落ち込んでいることを考えると海外の森林を守るためにも我が国の林を発展させ自給率を増加させることが必要であろう。

先に見てきたように森林の衰退は世界的に見て激しい。一方我が国においては木材生産を主とした林業は、木材の需要の低下、これに伴う材価の低迷、労働者の不足と高齢化によって衰退している。そのために森林は間伐等の整備も行われず、放置したり、あるいは伐採しても植林されずに放置されて森林は荒れて、環境保全、水源涵養機能といった公益的機能を発揮することも危ぶまれてきている。

森林の様々な機能を発揮させるためには、森林は整備されなければならない。従来森林は木材を生産し、収入を得、その上で森林整備を行ってきた。木材生産は長期にわたり、そのために投資された資金も長くおかれることになる。こういった経済行為の中で森林整備は行われてきたのである。しかし最近の林業の状況は、材価が低迷し、経済行為として産業としての構造的な問題となりつつある。森林の機能を発揮させなおかつ林業を成り立たせることは困難なこととなった。

表 1-1 日本の森林面積

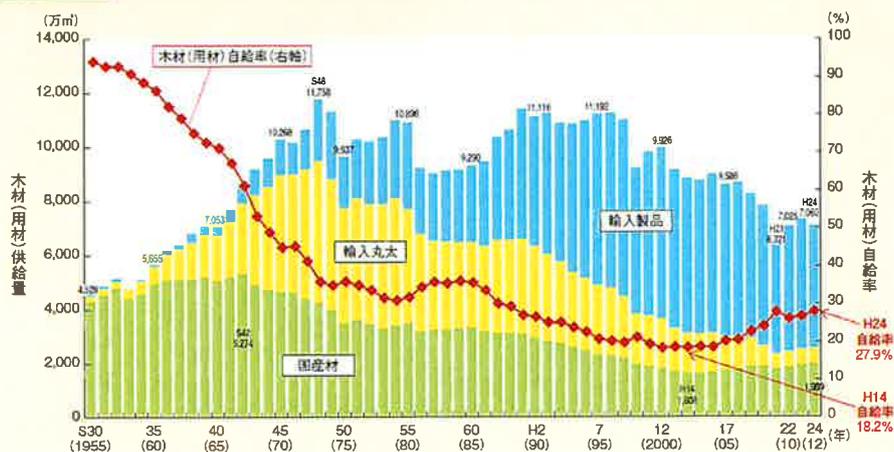
(1) 所有形態別森林面積・蓄積の概況

区 分		総数	人工林	天然林	その他	
面 積 (万 ha)	総 数	2,512	1,036	1,335	141	
	民 有 林	計	1,728	795	858	75
		私 有 林	1,449	672	715	62
		公 有 林	280	123	143	14
	国 有 林	計	784	241	477	66
		林野庁所管	764	238	463	62
		他省庁所管	20	3	14	3
蓄 積 (百 万 m ³)	総 数	4,040	2,338	1,701	1	
	民 有 林	計	3,029	1,970	1,059	0
		私 有 林	2,596	1,715	881	0
		公 有 林	433	255	178	0
	国 有 林	計	1,011	368	642	1
		林野庁所管	990	364	624	1
		他省庁所管	22	4	18	0

註 1) 本表は、森林法第2条第1項に規定する森林の数値である。
 2) その他は、伏採跡地、未立木地、岩石地、竹林等である。
 3) 平成14年3月31日現在の数値である。

我が国の木材需給の状況を見たのが図 1-3 である。自給率は、嘗ては 100% 近くあったが平成 17 年には 18.2% にまで落ちているが、最近平成 27 年には 33.1% まで復活している。生産高は、4600 万 m³ から一時 1608 万 m³ と激減したが、最近ようやく 2500 万 m³ まで回復した。全体の需要は、約 1 億 m³ であったが、近年 7000 万 m³ である。我が国の木材供給量は、国産材が約 30%、米材、北洋材が合わせて約 40%、南洋材が 15%、その他となっている。国産材が減り、外材の率が多くなっている。最近の特徴として南洋材が減り米材、北洋材が増加している。ロシアのシベリア材は、開発により乾燥化から環境問題を起こしていると言われている。いずれにしても自給率は約 3 割と低く、輸入の割合が 7 割である(林野庁)。

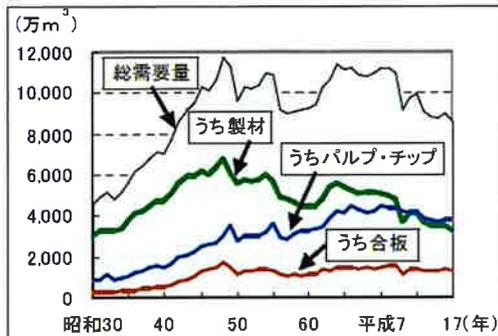
資料 V-9 木材供給量と木材自給率の推移



資料：林野庁「木材需給表」

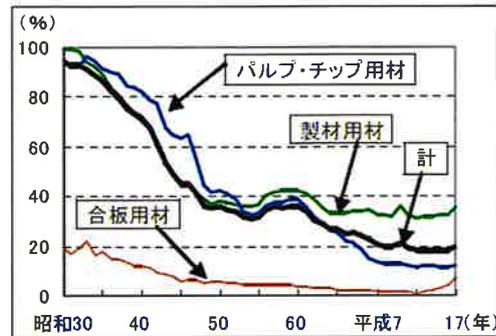
図 1-2 日本の木材自給量 (林業白書)

我が国の用材の木材需給量の推移



資料：林野庁「木材需給表」

国産材自給率の推移



資料：林野庁「木材需給表」

図 1-3 日本の木材の需要状況（林業白書）

わが国の国土の67%を占める森林を環境資源として水資源防災機能、休養林的利用等の公益的に有効に利用することは、当然のことながら健全な森林として常に整備していかなくてはならない。森林は常に人によって維持されて始めて健全に育つ。いうまでもなく人工林は当然ながら木を植え付け、下刈、除伐、間伐を経て健全な森林として育ち、天然林といえども例えば広葉樹などでも拓伐、除伐によって健全な森林として更新していく。放置された森林は風倒、虫害により崩壊していく。このように森林にとって人間との関わりは重要である。こういった森林を支えるのは山村に住み、林業を営む山村の人々なのである。またこの人々の生活を支えるのも森林であり、この森林資源を有効に利用して林業を発展させて森林を健全に育てることができ、これによって森林の公益的機能を十分に発揮させることが出来る。

森林と人間の関係を結ぶのが林業であり、この林業を支えるのが林道網などの森林基盤である。森林に対する人間活動は、森林のA木材生産、B公益的機能、C環境保全機能を有効に活用することができる。人間活動は、森林基盤を通して森林に働きかけ、森林は上記の機能を発揮できる。すなわち森林を健全に整備するためには、有効に森林基盤整備し、路網と機械化による高能率で低コスト搬出し、林業を発展させなければならない。

ここでは次世代高能率作業システムの導入、普及を促進し、低コスト林業を実現することとし、このために路網の充実が必要であり、作業道を中心とした技術の育成と路網と機械化作業システムを実現し、普及促進することである。

併せて、国、都道府県、市町村の各段階における森林の取扱いのルールを明確化し、また、それぞれの計画の役割・性格に応じ、適切なレビューを実施する。国は、森林整備・保全にかかるビジョン、基本的ルールと、これらに伴う必要な計画量を示すこと。生物多様性の保全に関することなど、新たな国民のニーズを踏まえたものとなるよう見直す。都道府県は、森林計画区ごとに森林の保続（成長量に見合った伐採量、齢級構成の平準化）を確保すること、広域な視点での森林の取扱いのルールの提示といった役割を明確化し、森林整備の円滑化・木材安定供給体制の整備に向け国有林との連携を推進する。また、各段階における森林計画の策定や、集約化を推進する際に、必要不可欠となる森林簿の情報について、その精度を向上させることが必要とし、このため、森林管理計画を市町村が認定する際の情報や、伐採・更新が行われた際の情報について、都道府県と市町村の間で共有できる仕組みを検討する。市町村は、具体的な森林の取扱いのルール（間伐や保育の基準、皆伐面積の上限、生物多様性保全のための施業上の配慮事項等）、路網の基本計画、集約化計画を地域のコンセンサスを図りつつ定めること、かつ、直接森林所有者や森林組合、林業事業体を指導しつつ進めることといった役割を明確化し、市町村森林整備計画が森林のマスタープランとなるよう位置付ける。

森林所有者等は、施業実施可能箇所をバラバラに束ね集約化等につながらない現行の森林施業計画を廃止して、効率的な森林施業を確保できる単位ごとに具体的な集約化計画、路網計画となる森林管理計画制度を創設し、これにより、森林の生物多様性の保全など公益的機能の発揮とも両立が図られた採算性の高い効率的な施業（持続的な林業経営）を推進するとともに、最小流域単位での計画的な木材供給量が把握可能（安定供給体制の基礎）である。

まとまりをもった施業を実施しうる体制の構築のため、利用期を迎えつつある資源を活用し持続的な林業経営を実現するためには、面的なまとまりの下、集約化や路網整備を進めつつ効率的な施業を進めて行くことが重要で、このため、森林所有者の責務の明確化や代行制度を措置することと併せて、意欲と能力のある者が、最小流域単位（数百 ha 規模）に面的なまとまりをもって集約化や路網整備等に関する計画を作成することが必要である。このことにより、最小流域単位で計画的かつ効率的な施業実施が明らかになり、木材の安定供給体制の構築に寄与するとともに、林業経営の自立に向けた環境を整備、また森林管理計画が継続的に作成されよう。なお、集約化に当たっては、集約化施業や路網設計等に必要となる専門的な知識・技術を有していることなどの要件を満たす森林組合、民間事業者、大規模所有者など意欲と能力がある者が誰でも林業経営の主体となれるよう、必要な森林情報の提供を行う。

この森林資源を有効に利用して林業を発展させて森林を健全に育てることができ、これによって森林の公益的機能を十分に発揮させることができる。

第2節 森林の林地地形について

我が国の林業は、森林・林業再生から地域創生の柱として「強い林業、林業の成長産業化」と期待されている。これからさらに路網整備と林業機械化によって高能率、低コスト化を実現していかななくてはならない。これまで路網整備と林業機械化によって高能率化をある程度実現してきた。我が国の蓄積された森林資源をさらに活用していくためには、路網のみならず我が国の急傾斜林地にあった集材法として架線を含めた作業システムの検討を必要としている。

これまで、当研究会は、路網と次世代高能率作業システムについて検討し、路網と作業システムについて結論を得た。しかし我が国の多くの林地は、急傾斜地が多く高能率作業を実現するためには路網整備のみならず架線を含めた作業システムを必要とする。

林業における木材生産のなかで特に伐出作業は、昔から木材の自重を利用し、地形を十分に考えながらできる限り効率的に作業を行おうとしてきた。当初は人力により行って搬出してきたときは当然お琴ながら地形に影響されてきたが、機械力を主体とする今日でも、急峻地形、急傾斜地形あるいは緩傾斜地形という地形の違いによって、林業機械の選択が異なってくる。すなわち伐出作業は、林地の地形に著しく影響される。

本報告においては、特に急傾斜林地における林業に要求される高能率、安全な搬出作業にあった作業システムと森林基盤（森林作業道、林業専用道、林道）の計画法、測量設計法、作設法の追求、作業システム（架線＋路網）を対象とする。

そのためには、次世代高能率作業システムを適用する森林、林地の地形について分析しなければならない。従来から森林作業に対する林地地形に関する分析として、森林利用学の立場からは検討されてきている。

第1項 わが国の森林地域の地形特性

我が国の地形は、急峻な地形である。経済的發展の上にも今なお森林面積が国土の 67%有り、これは、通常の農地或いは宅地として不適な場所が多いことを示している。すなわち傾斜地が森林として残ったのである。

表 1-2 に民有林の標高別現況が示してある。民有林の 90%は標高 1000m以下となっている。また表 1-3 に傾斜別標高別の森林面積率を示した。15 度未満御傾斜地の森林は 23%面積にして約 575 万 ha で、

残りは 15 度以上の傾斜地といえる。我が国の森林はいずれにしても傾斜地にあるといえよう。地域的に見れば北海道は標高の低い傾斜地が多く、その他は標高の高い傾斜地が多くなっている。この森林で営む林業は、傾斜のある地形と対置しなければならない¹⁾。

表 1-2 全国民有林の標高別現況

区分	面積比	人工林	天然林	無立木地帯
～400m	57%	55%	60%	54%
400～1000m	36%	39%	33%	35%
1000m～	7%	6%	7%	11%

(田淵の資料改変)

表 1-3 全国民有林の傾斜別面

区 分	面積比率	人工林	天然林	無立木地帯
15 度未満	23 (%)	22 (%)	22 (%)	33 (%)
30 度未満	61	52	51	45
30 度以上	16	26	27	22

第 2 項 森林利用学的地形区分

森林を扱う場合に、まず到達性と、伐出作業の仕組みを大きく左右する地形分類が必要となる。これについては従来から森林利用学的地形分類として確立されている。対象とする森林は、一つの団地を形成し、森林基盤としての林道網計画等の単位となり得る面積である。この対象面積としては約 1000ha 以上の団地の地形を概括的に把握表示する方法である。すなわちこの地形分類は、地形指数 (I) によって、地形を緩地形 (小起伏地)・中地形 (丘陵地)・急地形 (中山地)・急峻地形 (山岳地) に分類するものである。地形指数の要素因子は、傾斜 I (%)・起伏量 R (m)・谷密度 V (本/km²) の 3 つであり、これらは 5 万分の 1 の地形図によって決定されるが、地形の種類とそこで採用される集材法等は表 1-4 に示すようである。またこれらの因子についての測定法は、堀によって標準化されている²⁾。以下その手法について説明する。

表 1-4 森林利用学的地形区分

地形クラス	I 緩	II 中	III 急	IV 急峻
地形指数 I	0-19	20-39	40-69	70<
集運材方式	トラック	トラクタ	中距離架線	長距離架線

1) 地形傾斜の測定法

ここで一般的に行われている地形傾斜測定法について述べる³⁾。

(1) 寺田法 国土地理院発行の 5 万分の 1 の基本図を用いる。基本図の縦、横それぞれ 10 等分のメッシュをかける。その交点に半径 2.5mm の円を描く。交差する等高線の数を数える (n)。求める傾斜 (θ) は、(1) 式のようになる。

$$\tan \theta = 20 \times n / 250 \quad (1)$$

(2) 松井法 2.5 万の地形図の 4mm の方眼をかく。その交点の (1) を測定する。

$$\tan \theta = h / l \quad (2)$$

(3) 方眼法 同じく 5 万分の 1 の基本図に 10mm の方眼をかける。方眼に含まれる等高線の数を数える (N)。

$$\tan \theta = 20 \times N / 500 \quad (3)$$

(4) 等高線延長法

ランダムに描かれた円に含まれる等高線も延長を求める (Σl)。円の面積を求め(A)る、この測定はプラニメータ等によって行う。

$$\tan \theta = h \div A/\Sigma l = h (\Sigma l/A) \quad (4)$$

2) 森林利用学的地形区分法

基本的に上記の方法に準じて行う。この方法は地形因子として傾斜、起伏量、谷密度等を用いる。結果は表-1.3に示すような4区分に分けられる。測定方法は、5万分の1の基本図を用いる。対象区域に2cmのメッシュをかける。その交点に半径5mm, 10mmの円を描く。等高線と円周との交点数を数える(N_1, N_2)。小さい円の傾斜は(5)式、大きい円の傾斜は(6)式となり全体の平均傾斜として円周に重みを付けて平均すると(7)式のようになる。

$$Im_1 = \frac{N_1}{2} \cdot \frac{h}{2r_1} = \frac{N_1 \times 20}{2 \times 2 \times 250} \times 100 = 2N_1\% \quad (5)$$

$$Im_2 = \frac{N_1}{2} \cdot \frac{h}{2r_2} = \frac{N_2 \times 20}{2 \times 2 \times 500} \times 100 = N_2\% \quad (6)$$

$$I_i = (Im_1 + 2Im_2) / 4 = (N_1 + N_2) / 4 \% \quad (7)$$

次に起伏量を求める。各円の中での最高点と最低点の標高差である (R_m)。谷密度は計画区域全体のなかに谷がいくつあるかということであるが、地図上に表現されない谷頭を推定して数える必要がある (V/km^2)。

以上の傾斜、起伏量、谷密度から(8)、(9)式のように最終的に森林利用学的地形指数として表す。

$$I_r = R(0.1 + 0.01V) \quad (8)$$

$$I = (3I_i + I_r) / 4 \quad (9)$$

以上が従来から用いられた森林利用学的地形指数の算出法であるが、この方法は煩雑であり、かなりの人手を要する。そこで本論では最近のGISすなわち数値地形モデル(DTM)より計算によって求める方法を第3節に示す。

第3項 諸外国の林地地形区分法

これまで述べた森林利用学的地形分類は、林地の地形を対象とした分類である。林業を行う上での作業システムの種類は、森林の状況はもちろんであるが、作業の選択にはこの森林利用学的地形分類が重要な因子となる。この問題は、日本のみならず欧米各国で林業の問題となっている。ここでかつてこの問題についての国際会議が「森林作業のための地形分類」という課題で開催されたIUFRO国際会議(モントリオール1964)の発表を基に紹介する¹⁾。

1) ドイツ、フライブルグ大学シタイリンは、地表の支持力、障害物及び傾斜の3因子について、それぞれ条件の分類を行い、3因子の組み合わせによって作業の方法及び使用される機械についての指針を与えている。ドイツの地形は、山岳地はかなり少なく一般的には丘陵地となっているため、林内にトラクタ等の車両が走行できるので、走行のための地耐力の分類(表1-5 地耐力による分類)、と走行上障害となる林地の障害物についての分類(表1-6)が主流であり、地表の傾斜(表1-7 傾斜による分類)は、あまり重用しされていない。

以上の総括としてチェーンソー伐倒、トラクタ集材が主流で、一部架線が用いられている(表1-8 地形分類に基づく集運材作業の分類)となっている。

表 1-5 地耐力による分類 (シタイリン)

分類記号	特 性	備 考
U ₁ U ₁₁ U ₁₂ U ₁₃	通常の車輛通行可能, 許容地耐力 > 4 kg/cm ² >67%が通行可能 67~33%が通行可能 <33%が通行可能	岩, 鉄混り土 面積は1/3ha
U ₂ U ₂₁ U ₂₂ U ₂₃	通常の車輛が一時的に通行可能 >67% 67~33% <33%	乾季, 凍結季
U ₃	特別な車輛 (低圧タイヤ, クローラトラクタ) のみ 通行可能, 許容地耐力0.5~4.0kg/cm ²	粘土質土, 砂
U ₄	特別な車輛が一時的に通行可能	湿潤土
U ₅	いかなる車輛も通行不能, 許容地耐力0.5kg/cm ²	潤地, 沼

(注) U₃₁, U₃₂, U₃₃, U₄₁, U₄₂, U₄₃ についてはU₁, U₂ の場合と同じ

表 1-6 地表障害物による分類 (シタイリン)

分類記号	特 性	備 考
S ₁	地表面に障害なし	溝, 窪地, 岩のない平坦な森林
S ₂	障害物あり, ただし特別な車輛のみ通行可能	盛りあがった地形, 浅い溝あり
S ₃	障害物あり, 特別な車輛も通行不可	深い溝や岩あり
S ₄	車輛の通行不能な障害物で蔽われる	岩多く, 深い溝がきたらとある

(注) 各段階に67%以上, 67~33%, 33%以下の場合は前と同じ

表 1-7 傾斜による分類 (シタイリン)

分類記号	特 性
I ₁	平坦地, < 5%
I ₂	緩斜地, 5~25%, タイヤ式車輛がどの方向にも動ける
I ₃	25~40%, タイヤ式車輛が傾斜の方向にのみ動く
I ₄	40~60%, タイヤ式車輛の使用不可, 普通の状態では皮つき丸太は 自重で滑動しない
I ₅	>60%, 皮つき丸太が自重で滑動する

(注) 各段階に67%以上, 67~33%, 33%以下の場合は前と同じ

表 1-8 地形分類に基づく主運材作業の適用 (シタイリン)

作 業 方 法	U	S	I
動力鋸伐倒, 用材は馬搬, パルプ材は人力により林道端に集材	U ₁ , U ₂ , U ₃	S ₁ , S ₂ , S ₃₃	I ₁ , I ₂
動力鋸伐倒, トラクタ集材(ウインチ不使用)	U ₁ , U ₂ , U ₃	S ₁ , S ₂₁	I ₁ , I ₇
動力鋸伐倒, 伐倒現場から作業道までの集材はトラクタのウインチ, 作業道上の集材はトラクタ(ウインチ不使用), 作業道端でのパルプ材の積込みはクレーン	U ₁ , U ₂ , U ₃	S ₁ , S ₂ , S ₃₂	I ₁ , I ₂ , I ₃₂
動力鋸伐倒, 林道端での集材は動力つきウインチ, 林道端で機械による造材	U ₁ , U ₂ , U ₃ U ₄ , U ₅	S ₁ , S ₂ , S ₃₃	I ₁ , I ₂ , I ₃ I ₄ , I ₅
動力鋸伐倒, 林道端までの集材は架線 林道端で造材	U ₁ , U ₂ , U ₃ U ₄ , U ₅	S ₁ , S ₂ , S ₄ S ₄	I ₃₁ , I ₄ , I ₅
動力鋸伐倒, 自重による下方集材 林道端で造材	U ₁ , U ₂ , U ₃	S ₁ , S ₇	I ₄ , I ₅

2) ドイツ ミュンヘン大学のレフラーは、地形傾斜とそれぞれの占める割合によって傾斜区分を行った。図 1-4 に示す①の easy terrain は傾斜地形傾斜 30%以下の地域が 90%以上あることを示す。ドイツのバーデン・ベルテベルグの傾斜区分は、②の medium terrain に属しているからきわめて地形条件が良いことが分かる。③の broken terrain は、30%以上の傾斜が 50%以上あることを示す。我が国の急峻地形はほとんどが⑤の very difficult 急地形に区分される。

図 1-5 は、上記の方法によって都道府県の森林地域の傾斜の累積度数分布図である。上記の区分法府とはかなり異なったものになっているが、地域の森林地形についての比較ができる⁷⁾。

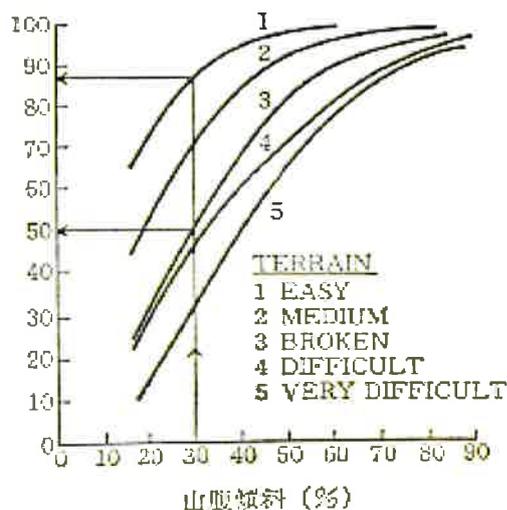


図 1-4 山腹傾斜累積分布曲線 (Loeffler)

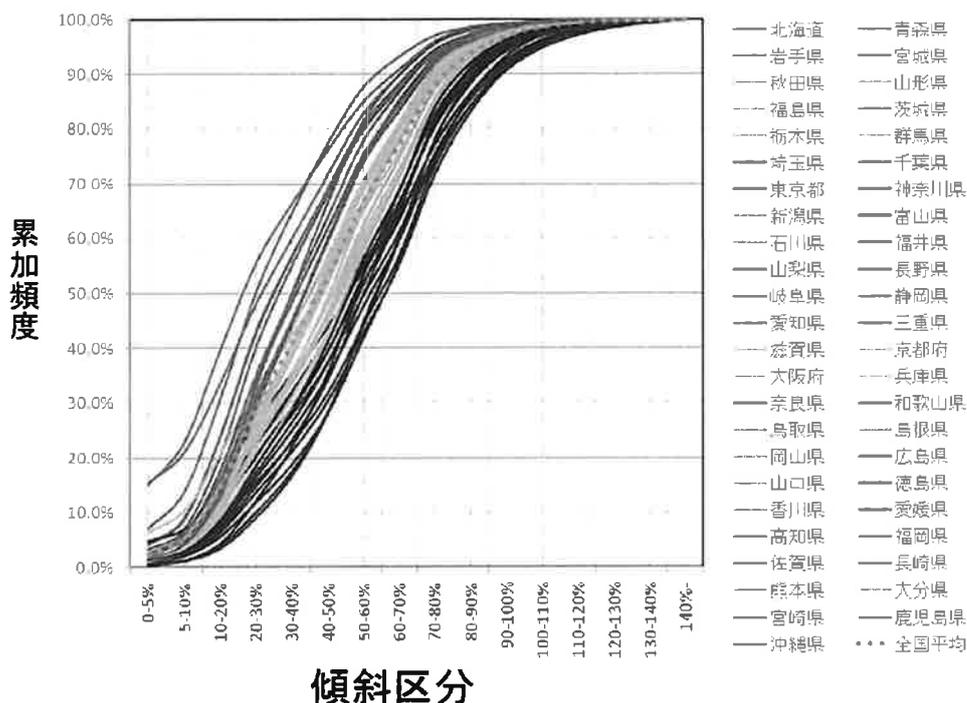


図 1-5 都道府県の森林地の地形傾斜累積度数分布図（後藤ホームページ）

3) スウェーデンでは、地形が平坦なためにドイツと同様車両を主とした森林作業のための分類である。1967年に Skogsarbeten（伐出作業研究所）が中心となり地形分類に関する研究を纏めている。

ここで取り上げられている因子は、①地表の状態 ②地表の荒さ ③傾斜の3区分である。それぞれ5段階に分けている。地表の状態の区分は、土壌と植生を考慮した北部スウェーデン用と 土質とその含水状態などを考慮した南部スウェーデン用に分かれている。

地表の荒さについては、現地において測定した障害物の高さ（体積）と出現回数に基づいた 図 1-6 により決める。障害物の測定は対象地域全体に、一定の間隔で測点を設けて各測点を中心とした 100 m² の区域内の障害物の高さ及び窪地の深さを測定して体積を求める。

地形傾斜については、障害物の測定と同じように一定の間隔で測定点をもうけ、各測点において傾斜の方向に沿って水平距離 25m の間の傾斜を測定し、度数の最多クラスを持ってその地域の傾斜クラスとする。

各クラスは以下の通りである。

1. 0~10% (0~6 度)
2. 10~20 (6~11 度)
3. 20~30 (11~18 度)
4. 30~40 (18~27 度)
5. 40~50 (27 度以上)

以上の3因子について測定された結果は、地表の条件、荒さ、傾斜の順それぞれの指標数字によって示す。ただし地表条件には、土壌のコード番号を示すことになっている。この測定法はかなりの時間がかかりそうであるが地形が平坦であるだけ分類には厳密である。

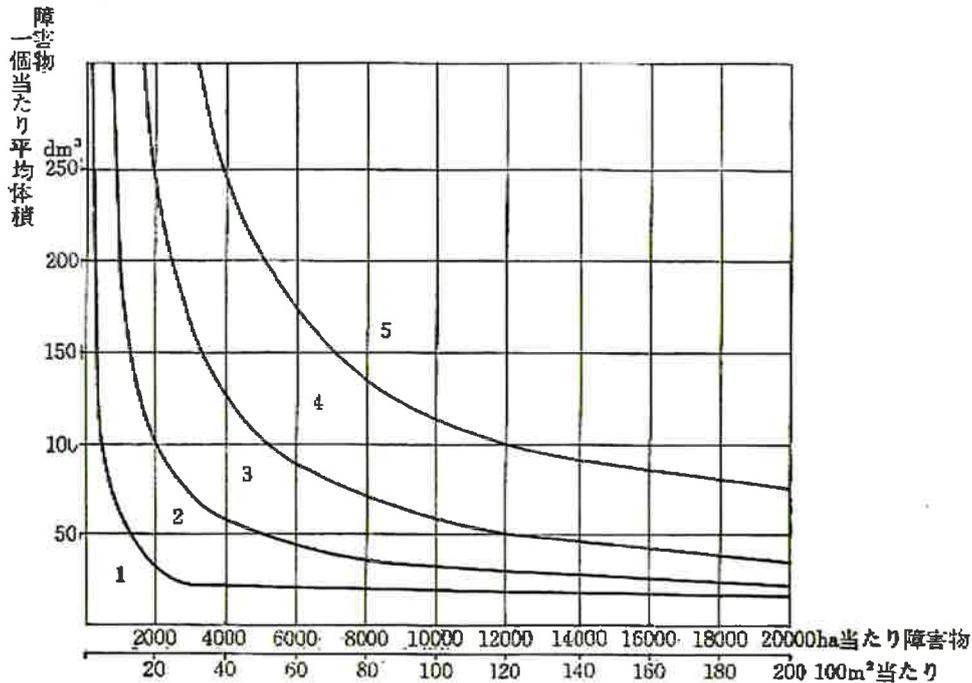


図 1-6 地表の荒さ分類 (スウェーデン)

4) ノルウェーの地形区分方式は、地形の特徴として山岳地が多いため、架線集材方式を考慮しており、我が国の地形区分法の上から参考になる。ノルウェイの地形区分は、傾斜とスロープの長さが中心となりその条件の組み合わせによって森林地形を区分しようとしている。

先ず地形を総括的に4クラスに分類する。

- ① cable-slope: 地形傾斜が33%以上の急傾斜地で山腹長が300m以上のところ
- ② cable-plateau: 地形傾斜33%以上の急傾斜地で頂上に平坦地を持つ地形
- ③ winch-terrain: 障害物が多く不規則であるかまたは短くて急な山腹を持つ作業困難な地形
- ④ even, quite regular terrain: 良好な森林地形で林業用トラクタの使用が可能で林床の支持力も良好な地形

第3節 GISを用いた森林地形の分析、区分

森林が存在するところはほとんどが山岳であり、地形の斜面は、急傾斜であり、沢や谷は入り込み複雑である。そこでの林業を中心として森林作業は、厳しく、これらを扱う森林作業計画は、まずこれらの地形について分析しなければならない。ここで扱う林道計画、森林作業計画は、地形の分析から始める。扱う材料は地形図であり、補助的に空中写真、あるいは現地踏査で得られた地形に関する測量データである。しかし最近のGISに見られるように、多くのデータを現在ではコンピュータによって扱われる。このコンピュータ利用のために考案されたのが数値化された地形すなわち一般に数値地形モデル (Digital Terrain Model, D.T.M.あるいは D.E.M.)といわれているものである。数値地形モデルは、現在では、GIS (Geographic Information System) と呼ばれ、対象区域を (x,y,z)の3次元座標によって表現するものである。平面の位置を(x,y)で表し、標高を(z)座標値で表現する。作成方法はつぎのようないくつかの方法がある⁴⁾。

1) グリッド方式 平面座標が等間隔におかれるもので、実質的なデータとしては標高のみが与えられる。もっとも普通に見られる形で、図上の座標位置をメッシュによって与え、その標高を等高線から読み取る。すなわち3次元の座標の内、平面座標を規則的に変化させて標高のデータだけを与えるもっとも使い易く、国土地理院による標準メッシュにも採用されている。

2) ランダムポイント方式 平面の座標値に規則性はなくランダムに配置されるもので、標高値と座標値の3次元座標によって表現される。デジタイザーによって等高線を追従して得られる数値地形図である。

3) コンターライン方式 上記の場合に等高線を追従してえられるモデルを言う。標高が一定なのでデータの読み取りが容易である。

4) セクション方式。これは地形を断面で切った形によって表すモデルである。道路の横断面図の表し方である。モデルは次式の数通式によって表現できる。

$$\begin{aligned} Z &= f(x) \\ x &= f(y_i) \quad (i=1,2,\dots,n) \end{aligned} \quad (10)$$

ただし、 z は標高値、 xy は平面座標値である。

このように地形をいくつかの形式によって表現することで数値地形モデルとして表せる。最近のGISモデルで用いられている形は、等高線を平面座標値の連続として表現するラスタ方式を用いている。

第1項 GIS(数値地形モデル)からの地形の表現

森林利用学的に地形を扱う場合に、森林の地形因子を求める必要がある。先に示したのは、地形図を用いた地形の分類法であったが、ここではコンピュータによって地形因子を求める方法について述べる。

地形の因子のもっとも重要な因子は、傾斜である。コンピュータは数値地形モデルより計算しなければならない。ここで地形の表面を3次元に表現し、最急傾斜はある点での x 方向と y 方向に微分された値の幾何平均値を最急傾斜地とした(11式)。最急傾斜の方向は y 軸方向から時計回りの角度とし、傾斜の大きさに配分された角度とした(12式)により表される。

$$S = \sqrt{(\partial z / \partial x)^2 + (\partial z / \partial y)^2} \quad (11)$$

$$\theta = \tan^{-1}((\partial z / \partial x) / (\partial z / \partial y)) \quad (12)$$

これらの因子を数値地形モデルより求めるには、各測点での残差を最小とするような前提で求めた(13,14)式より求める。

$$S = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (13)$$

$$\theta = \tan^{-1}(b/a) \quad (14)$$

但し、

$$a = (Z_{ij} + Z_{i+1j} - Z_{ij+1} - Z_{i+1j+1}) / 2D \quad (15)$$

$$b = (-Z_{ij} + Z_{i+1j} - Z_{ij+1} + Z_{i+1j+1}) / 2D \quad (16)$$

上式の z は標高、 D はグリッド間隔である。

以上森林利用学において扱う場合の分析例を挙げた。森林内にて人間が活動するためには森林基盤と

しての地形を考慮しなければならない。最近ではコンピュータの発達によって身近に使うことが出来るようになった。また GPS (Geographic Positioning System) と呼ばれる簡単な機器によって自分の位置を測定できるようになった。そして地図情報においてもその処理技術が格段の進歩を見、身近に使えるようになった。この技術を地理情報システム (Geographic Information System) と呼ばれ、その略称とし [GIS] として用いられている。

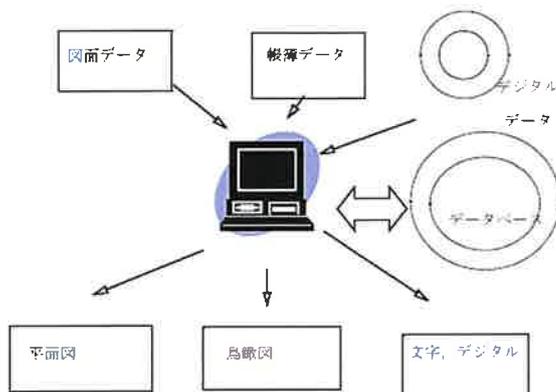


図 1-7 GIS の機能

本来地図は人間に対しての案内図であり、人間によって理解できるように作られている。GIS は、コンピュータによってこの処理を出来るようにしたものである。図 1-7 に示すように、GIS においては地理情報の記憶、地理情報の解釈、地理情報の表示、これらすべてにコンピュータによって処理することになる⁴⁾。

1) 地理情報のかたち

一般の地図は、人間に分かる形であるが、これをコンピュータに入力、すなわち教え込まなければならない。コンピュータは、デジタルの形で理解するから形をデジタル表現して入力する。入力の形として GIS は、ベクトルとラスターの 2 種類の形に記憶される。ベクトルは、図 1-8 にあるように形を座標値の連続によって表現する、ラスターは、ゾーンに区切って分解した形で表現する。その他のその地域での文字情報は、デジタルで表現される。

具体的にコンピュータに入力するときは、デジタルな値として入力される。林班などの帳簿データ等はコンピュータにデジタルな値で入力される。このような操作は手間のかかる仕事であるが、最近では地方自治体の方で独自に入力し、森林に関して整備されている。地形データとしての等高線などは、国土地理院で提供されている。従ってこれらを利用する場合は自ら行うことなく入手できる。

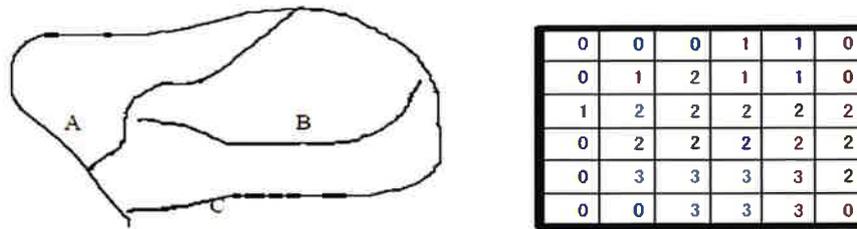
2) 地理情報の表示

上記によって入力されたデータは、コンピュータ内に記憶される。ユーザとしての利用者が地理情報を見るためにはコンピュータ内に人間の理解できる形に表現されなければならない。このときにベクトルデータは、(x, y) 座標値の点として表現され、この連続が線となり、形となる(図 1-8)。一方ラスターデータは、面として表現され、ゾーンとして表される。これら図面は、何種類かに表現され、重ねられいくつかの形が出来る。図 1-9 に示すようなレイヤーと称する。

3) 地理情報の出力

レイヤーは、どの組み合わせでも表現できる。これが森林に関するデータベースとなる。これらのデータは、目的にあった形に管理される。各種の分析に耐え、例えば距離面積などが解析できる。そのほか属性データにあった解析も可能である。森林の場合は、等高線、谷、山と言った地形に関するデータ、森林に関する林班境界、林道、道路に関する地図、など図 1-9 レイヤーによる表現が一般的である。

森林利用学に関しては、林道計画、搬出計画、作業計画において実用的に用いられている。



1) ベクターデータ

2) ラスターデータ

図 1-8 ベクターデータとラスターデータ

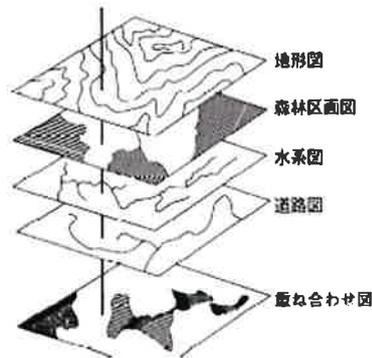


図 1-9 レイヤーによる表現

第2項 GIS (数値地形モデル) による地形指数の推定

林道計画システムにおいて最初に行う林道密度の算出あるいはその後必要となる費用の算出にさいしては、従来の地形区分と作業システムに応じた具体的数値を種々の算定因子に与えながら求めることになる。したがって地形区分は重要な因子となる。しかしながら従来の地形区分法を数値地形モデル (以下 GIS) に直接適用することはできない。本節では GIS より地形指数を求める方法を究明するために傾斜、起伏量、谷密度の地形因子について、同一の地域を対象に測定し地形指数と各地形因子相互の関係を調べた。測定対象地域は地形の緩中急急峻の全般にわたって資料が得られるように美幌町、室根村、鹿沼市、下仁田町、諸塚村、木頭村、川上村の市町村を選んだ²⁾。各市町村の地形分類、計測対象面積は表 1-9 のとおりである。

表 1-9 調査対象地区

市町村	計測対象面積	森林利用学的地形指数
美幌町(北海道)	4400ha	I. 0 ~ 19
室根村(岩手県)	4850ha	II. 20 ~ 39
鹿沼市(栃木県)	5020ha	III. 40 ~ 69
下仁田町(群馬県)	4525ha	
諸塚村(宮崎県)	5150ha	
木頭村(徳島県)	4700ha	IV. 70 ~
川上村(奈良県)	6200ha	

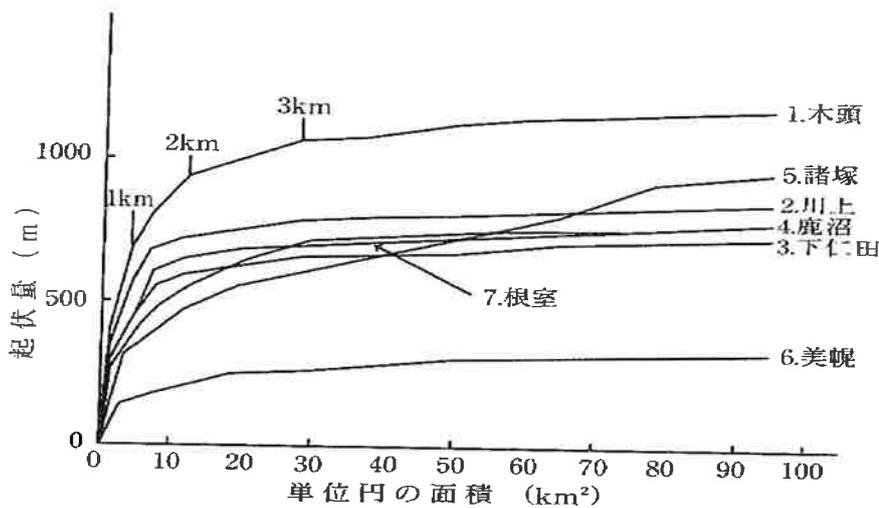


図 1-10 起伏成長曲線

図 1-10 にはそれぞれの起伏成長曲線を示したが、これによると美幌町は 1 km, 諸塚は 3km, その他は 2 km の半径の円までに起伏量は急速に成長する。したがって林道計画のためのメッシュの一边の長さは 2km 以下で十分であり、数値地形モデルのグリッドの間隔を 5 万分の 1 の地形図上で 1cm 定める。

地形指数の測定方法は従来から提案されている同心基円(半径 250m、500m)を用い、傾斜、起伏量を測定したが測点は数値地形モデルと関連をもたせるため 1cm のメッシュ上の 3 つ目のグリッドごとに中心を求めた(図 1-11)表 1-10 に前述の地域の地形指数と地形因子相互の相関係数を示したが、これによると傾斜は地形指数に、起伏量は傾斜に相関が高いが谷密度は他の地形因子とは余り関係なく、地形指数といくぶん相関がみられる。地形指数に注目すると傾斜と極めて高い相関がみられる。尚、図 1-12 のナンバーは表 1-9 に示した地域で 1.木頭 2.川上 3.下仁田 4.鹿沼 5.譜塚 6.美幌 7.室根を表し、以下の図においても同様である。

次に GIS と地形指数の関係を見出すために上述の地域に対しての 10m メッシュによって数値地形モデルを作成した。地形指数は傾斜にもっとも相関が高いので、数値地形モデルよりをスクエアごとに最急傾斜を算出し、地域別に平均して、地形指数と対比させた(図 1-13)。相関係数は 0.881 であり、両者ともほぼ直線関係にあるといえる。

また、森林利用学的地形指数は(2.1)式からもわかるように傾斜に高いウエイトをもつ値であるから、数値地形モデルから地形指数を推定する場合も数値地形モデルより算出した最急傾斜から推定するのが適切と考えられる。推定式としては前述の地域より求めた(17)式を用いる。

$$I = 1.527x + 9.533 \dots\dots\dots (17)$$

ただし、 x : 数値地形モデルより求めた最急傾斜(%), I : 推定地形指数(%)

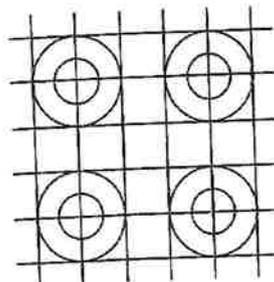


図 1-11 同心円測点の取り方

表 1-10 地形因子間の単相関行列

要因	1. 傾斜	2. 起伏量	3. 谷密度	4. 地形指数
1. 傾斜	-	0.9407	0.2392	0.9851
2. 起伏量	0.9407	-	-0.0162	0.9363
3. 谷密度	0.2392	-0.0162	-	0.3251
4. 地形指数	0.9851	0.9363	0.3251	-

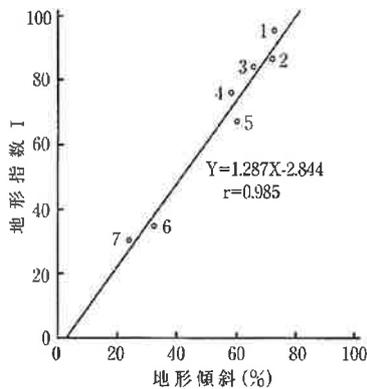


図 1-12 傾斜と地形指数

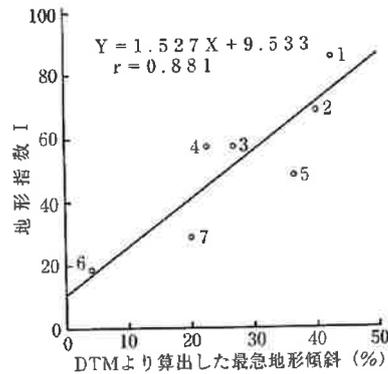


図 1-13 D.T.Mより算出した最急傾斜と地形指数



図 1-14 地形指数の算出

以上の考え方に基づいて、プログラムを作成したが、その流れ図は図 1-14 のようになる。ここではスクエアごとに地形指数を算出し、全地域の平均値を求め、さらにスクエアごとに 4 段階の地形区分をし、スクエア数の分布度数とヒストグラムを算出する。これらの値は林道計画の基礎資料になり、さらに伐出計画などにおける資料としても利用が可能である。

図 1-15 は 今市営林署管内の一部の数値地形モデルであり、横軸、縦軸にグリッドの x,y 座標値を示してあり、以降についてもこの値は同じである。図-1.12 はさらにこの値をもとに推定した地形指数の値を、0~19 を 1, 20~39 を 2, 40~69 を 3, 70 以上を 4, の 4 段階示した値の分布である。

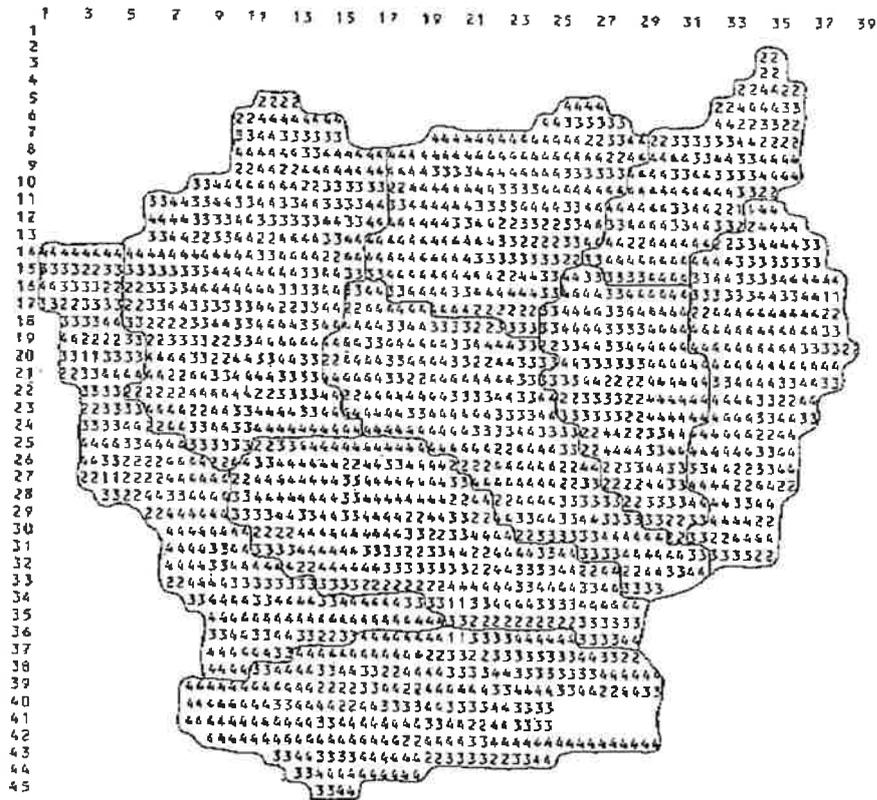


図 1-15 旧今市営林署の地形区分

参考文献

- 1) 上飯坂 實：森林利用学序説 (1971.3), 174pp 地球社
- 2) 堀高夫：路網計画のための図上地形判定について, 日林誌 47, 168-170, 1965
- 3) 中野尊正：地形調査法, 古今書院, 1967
- 4) 小林 洋司：森林基盤整備計画論, pp205, 1997.7 日本林道協会
- 5) 木平勇吉・西川匡英・田中和博・龍原 哲：森林 GIS 入門 (1998) pp・100、日本林業技術協会
- 6) 小林洋司：山岳林にける林道網計画法に関する研究、宇都宮大学学術報告 38 号、pp101, 1983
- 7) 上飯坂實、神崎康一：森林作業システム学、292pp、1999、文永堂出版会

第 4 節 森林整備計画のための GIS による森林地形区分

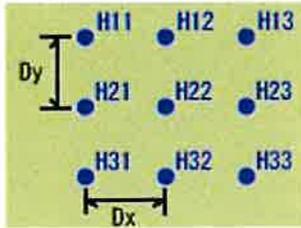
第 1 項 概要

前節で整理したように森林整備計画樹立のためには、現場の地形特に傾斜の分布を把握することが必要である。ここでは、この方法論と利用方法について整理する。

過去には図上で単位同心円中の等高線の数を数え、1 メッシュごとの平均傾斜を算出していたが、近年は GIS を活用することにより、この算出が容易となっている。

GIS による傾斜区分を行う場合は数値標高モデル DEM(Digital Elevation Model)を直接利用する場合と等高線のデータから地表面近似処理を行い、そこから DEM を作成する場合がある。地表面近似処理により作成される TIN モデルから直接、傾斜区分図や起伏量図を起こすことも可能であるが、森林資源の広がりのような面的なものを GIS で処理する場合は、他の属性データと共用する機会が多いこと、DEM から傾斜区分ごとのラスターデータを作成する方が便利である。

ソフト内での解析方法についてはいくつかの方法があるが一般的なものとしては、XY 方向に隣接する4近傍に重みをつけ、傾斜角を斜面勾配I（度）として求めたものがある。



$$S_x = \{(H_{11} + 2 \times H_{21} + H_{31}) - (H_{13} + 2 \times H_{23} + H_{33})\} / (8 \times D_x)$$

$$S_y = \{(H_{11} + 2 \times H_{12} + H_{13}) - (H_{31} + 2 \times H_{32} + H_{33})\} / (8 \times D_y)$$

$$I = \arctan \{ (S_x)^2 + (S_y)^2 \}^{0.5} \times 180 / \pi$$

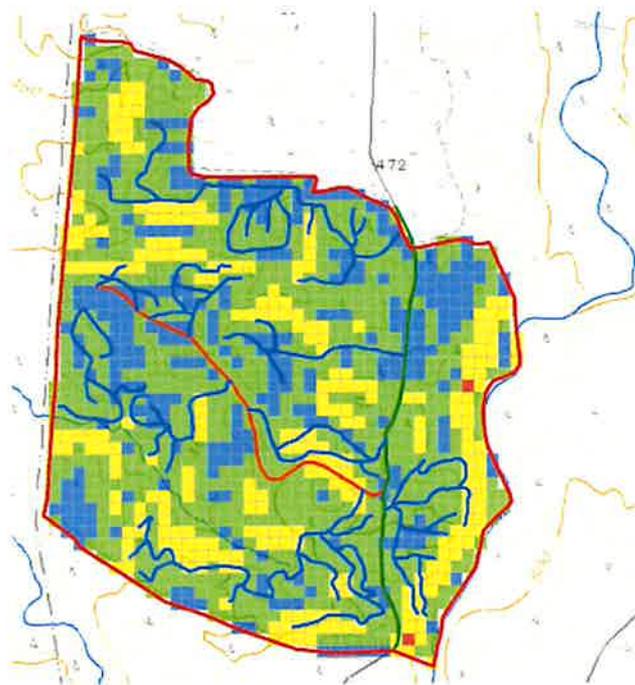


図 1-16 DEM から傾斜区分しラスタライズした1例

図 1-16 は DEM から傾斜区分をラスタライズしたものである。広域な場合で全体の地形の状況を確認する場合や林況や到達性のデータを点数化して地形データと重ねる場合はのように1メッシュ毎に情報を持たせた方が計画を策定しやすいものとなる。

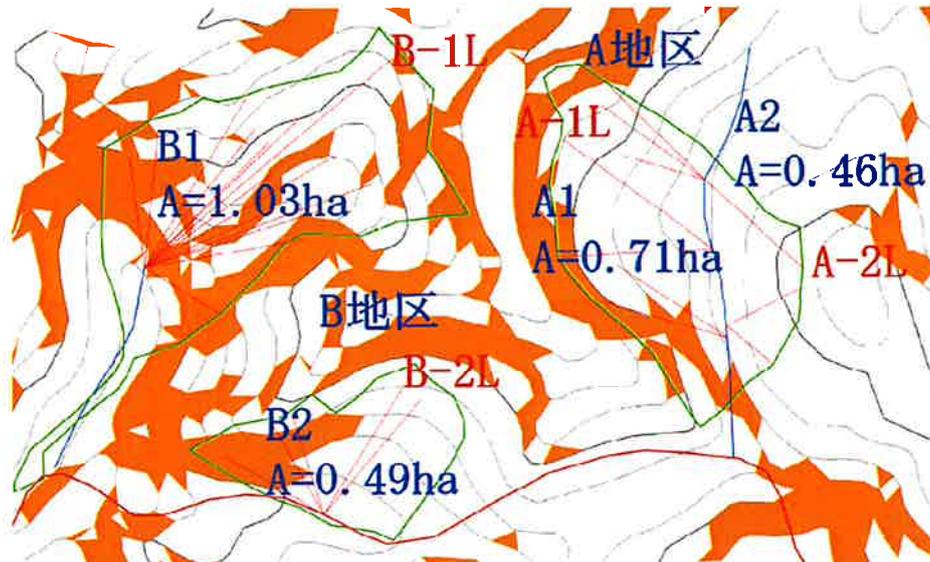


図 1-17 TIN モデルを作成し、30 度以上の傾斜地を示した 1 例

図 1-17 は等高線のデータから地表面処理を行い TIN モデルを作成し、30 度以上の傾斜地を表示した 1 例である。事業地の路網計画作成時においては、このような図面があると路線の適地・不適地を図上で選定してから現地踏査を行うことができる。コンターの間隔から色分け図を作成することと同じことであるが、DEM を活用することによって、広域の面積の分析が容易となる。

第 2 項 利用するデータ

オープンソース GIS データについては、年ごとに充実してきており、国土地理院をはじめとして基本的なデータは無償で利用できるようになってきている。特に基盤地図情報については、平成 19 年 8 月に施行された地理空間情報活用推進基本法に基づき、「地理空間情報の位置を定めるための基準」となるものとして、GIS の共通白地図データとして自由に使えるようになっている。

10m メッシュの DEM については全国整備が完了し、航空レーザー測量結果をもとにしたより高精度な 5m メッシュの DEM についても国内多くの範囲が整備されてきた。自治体によっては、独自に航空レーザー測量を行い、1m メッシュの DEM を整備しているところもあるが、これらの高精細なデータについては今のところ完全なオープンとはなっていないようであるが、長野県の場合では、林業用の使用に限定して、所定の手続きを行うことによって、長野県により作成された各種データを利用することができる。

長野県では DEM から算出した曲率や傾斜に青色や赤色の色調を与えることで山地地形の直感的な把握を可能にする CS 立体図を考案し、これらのデータも利用できるようになっている。所定のデータをそろえることができれば、フリーソフトである CS 立体図自動作成ソフトにより作成可能である。この詳細については、長野県型立体地形図＝CS 立体図を用いた林内路網の路網配置検討手順に記載されている。

一般的に利用できるデータの概要は表 1-11 に示すとおりである。10m メッシュは基図をベースとしているが、5m メッシュは航空レーザー測量をベースとしていることから、10m メッシュと比較すると高い精度となっており、1/5000 レベルの検討では利用できる精度を有している。

表 1-11 基盤地図情報(数値標高モデル)のデータの種類の概要

種類	作成方法		ファイル単位	精度	
				水平	高さ
5mメッシュ	航空レーザ測量	基本測量	3次メッシュ	1m	0.3m
		公共測量		1m	0.3m
	写真測量	基本測量		1m	0.7m
10mメッシュ	火山基本図の等高線	基本測量	2次メッシュ	基図による	2.5m
	地形図の等高線			基図による	5m

第3項 地形区分

今回の分析では急傾斜地2地区(兵庫県朝来市、高知県大川村)、緩傾斜地1地区(愛知県新城市)の合計3地区について5mDEM及び10mDEMを用いて地形区分を行った。方法は第1章第3節第2項で説明した、次式により算出した。

$$I = 1.527x + 9.533$$

ただし、 x : 数値地形モデルより求めた最急傾斜(%), I : 推定地形指数(%)

表 1-12 調査対象地域

調査対象	地形
愛知県新城市	緩傾斜
兵庫県朝来市	急傾斜
高知県大川村	急傾斜

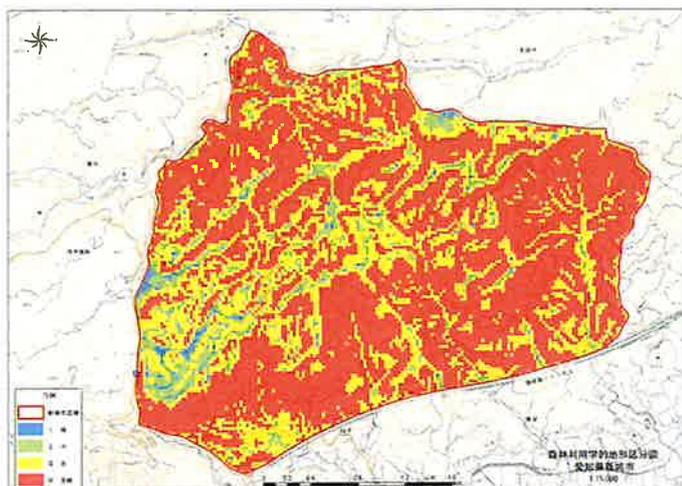
ベースとした図面及びDEMは国土地理院のオープンデータを用いた。分析については10mDEMは50mメッシュと100mメッシュ、5mDEMは25mメッシュと50mメッシュの区分を行った。

メッシュ内の平均傾斜を算出することからメッシュが小さくなるほど「急」として区分されるものが多くなる傾向にある。実際の地形と分析結果から判断すると10mDEMの場合は50mメッシュ、5mDEMの場合では25mメッシュを利用したほうが良いようである。違いを明確に出すためには、区分をより細かくする等が考えられるが、細かく区分することはデータが細かくなり、本来ほしい情報がぼやけることにもなるため、基図とする図面の縮尺と利用用途を考えて検討することが大切である。

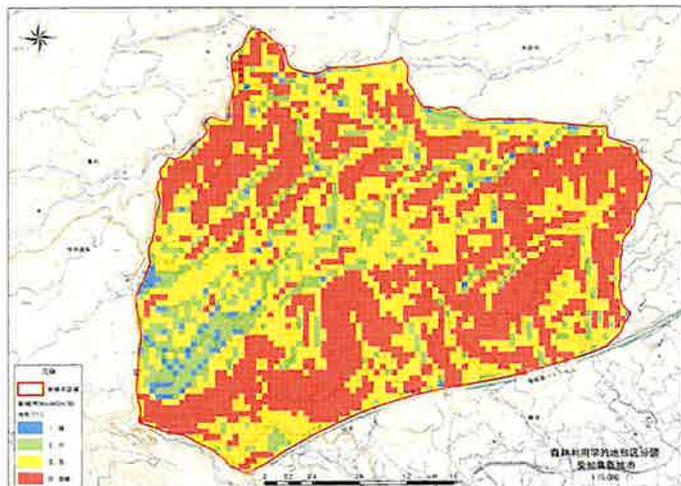
表 1-13 森林利用学的地形区分の結果

上段：メッシュ数 下段：割合

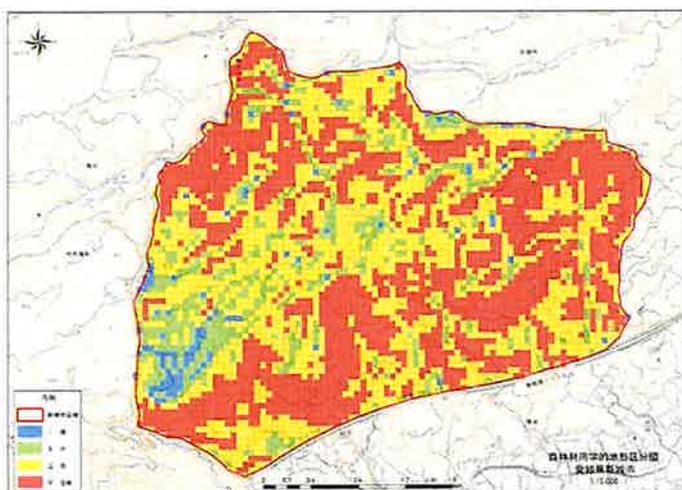
地区	利用データ	地形クラス 地形指数I	I 緩	II 中	III 急	IV 急峻	メッシュ数
			0-19	20-39	40-69	70<	
新城	5mDEM	25mメッシュ	239	1,474	4,779	10,680	17,172
			1.4	8.6	27.8	62.2	100
	50mメッシュ	91	577	1,653	1,979	4,300	
		2.1	13.4	38.4	46	100	
	10mDEM	50mメッシュ	109	550	1,708	1,933	4,300
			2.5	12.8	39.7	45	100
100mメッシュ	43	227	527	277	1,074		
	4	21.1	49.1	25.8	100		
朝来	5mDEM	25mメッシュ	49	342	1,632	27,453	29,476
			0.2	1.2	5.5	93.1	100
	50mメッシュ	16	198	1,222	5,924	7,360	
		0.2	2.7	16.6	80.5	100	
	10mDEM	50mメッシュ	19	253	1,343	5,745	7,360
			0.3	3.4	18.2	78.1	100
100mメッシュ	13	125	640	1,062	1,840		
	0.7	6.8	34.8	57.7	100		
大川	5mDEM	25mメッシュ	75	1,026	11,393	3,935	16,429
			0.5	6.2	69.3	24	100
	50mメッシュ	7	79	456	3,559	4,101	
		0.2	1.9	11.1	86.8	100	
	10mDEM	50mメッシュ	9	63	484	3,545	4,101
			0.2	1.5	11.8	86.4	99.9
100mメッシュ	4	23	174	820	1,021		
	0.4	2.3	17	80.3	100		



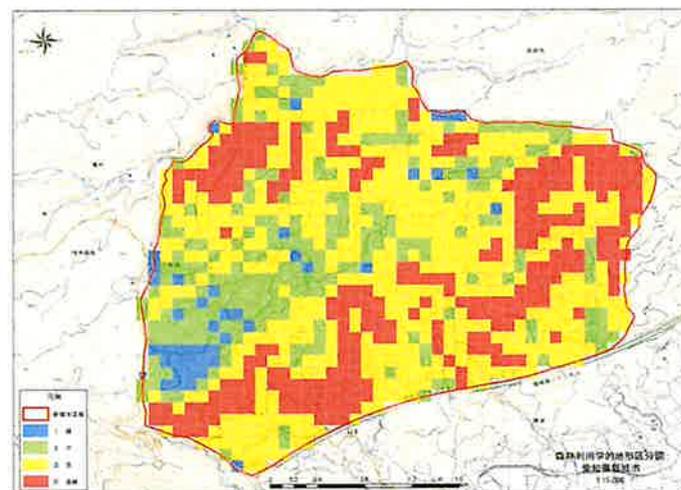
5mDEM 25m メッシュ



5mDEM50m メッシュ

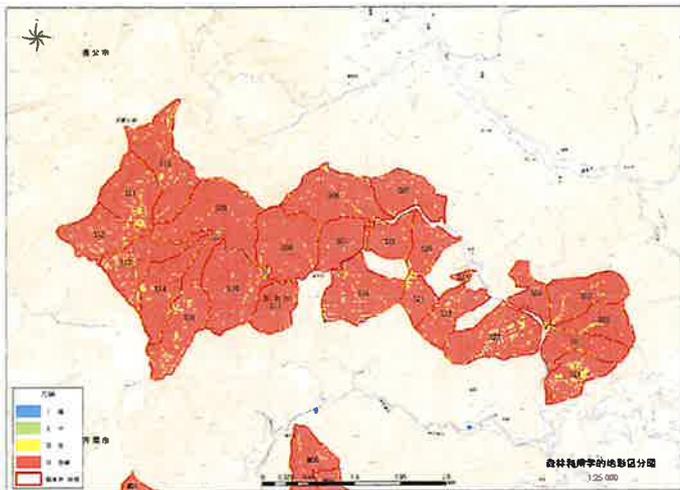


10mDEM 50m メッシュ

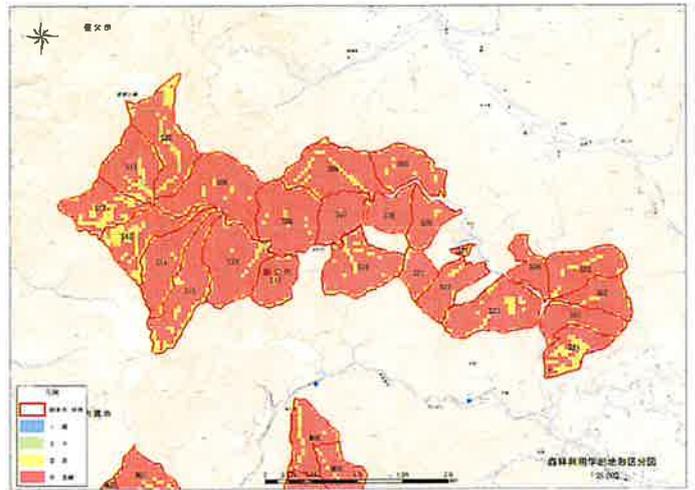


10mDEM100m メッシュ

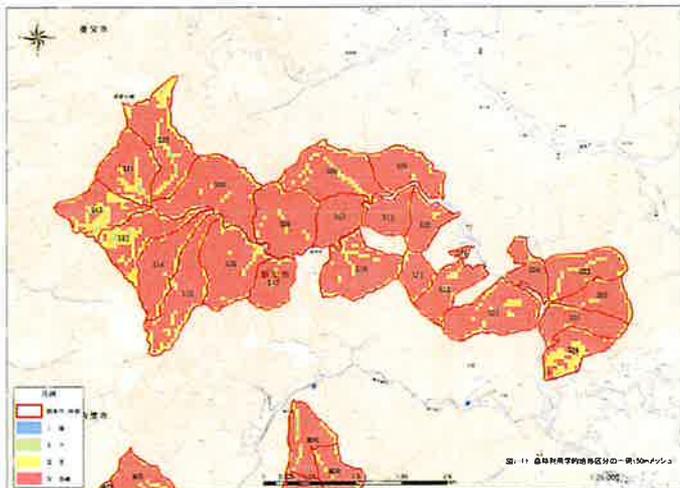
図 1-18 森林利用学的地形区分の一例（愛知県新城市）



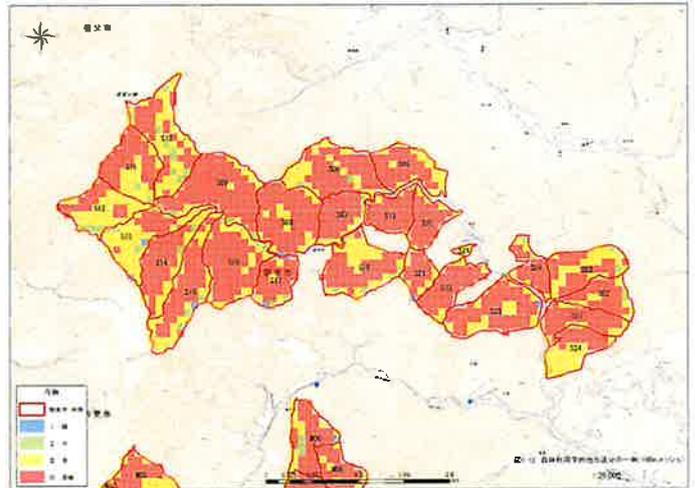
5mDEM 25m メッシュ



5mDEM50m メッシュ

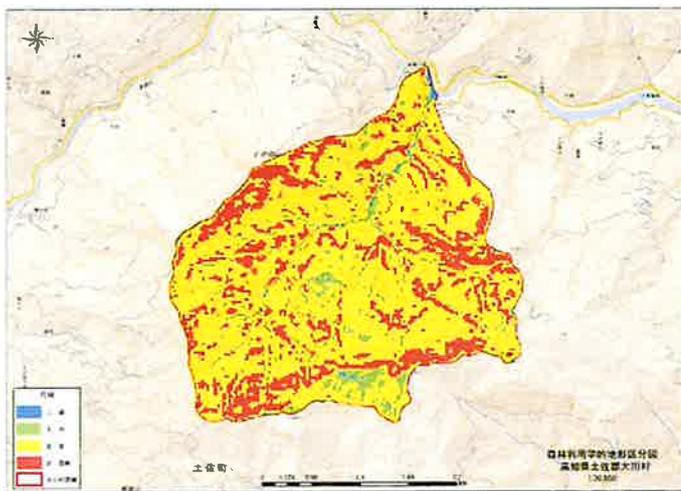


10mDEM 50m メッシュ

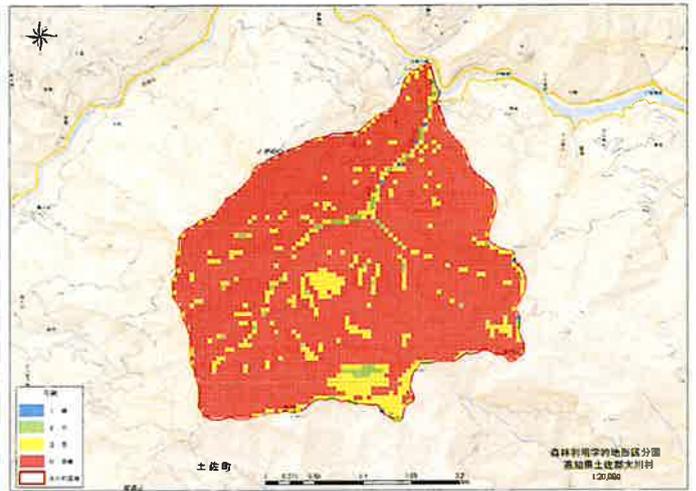


10mDEM100m メッシュ

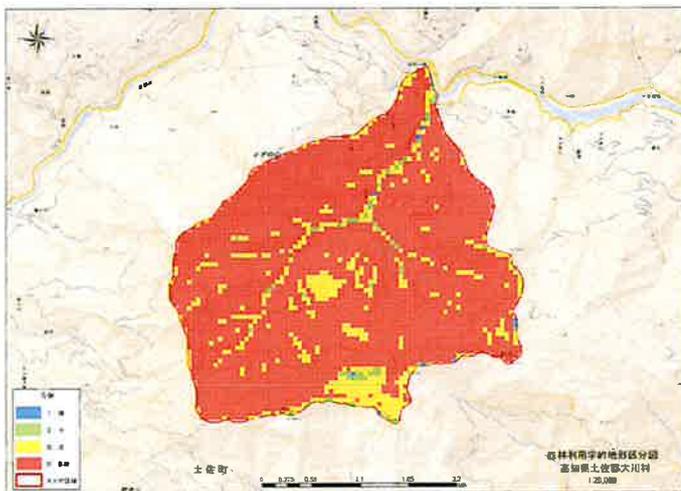
図 1-19 森林利用学的地形区分の一例（兵庫県朝来市）



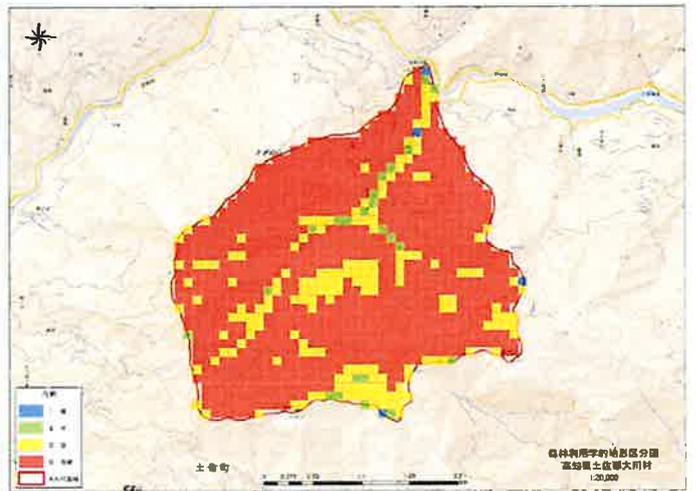
5mDEM 25m メッシュ



5mDEM50m メッシュ



10mDEM 50m メッシュ



10mDEM100m メッシュ

図 1-20 森林利用学的地形区分の一例（高知県大川村）

各メッシュ毎に傾斜区分の属性データがあることから、これと蓄積データや齡級データを重ね合わせることで、事業地の選択等に活用できるようになる。オープンデータから作成した傾斜区分の結果については、フリーソフトの Gogle Earth と被せ合わせることで、全体の説明図等に加工が容易である。

第1項で整理したように、近年ではより簡易に微地形を確認することができる方法も開発されており、地形形状を簡単に把握することができるようになった。以前は地形図及び空中写真判読によって確認していたことから、判読者によって差異が生じやすかったが、特徴的な地形が強調されて表現されているため、表現のポイントを押さえておくことにより比較的容易に地形の判別ができるようになった。

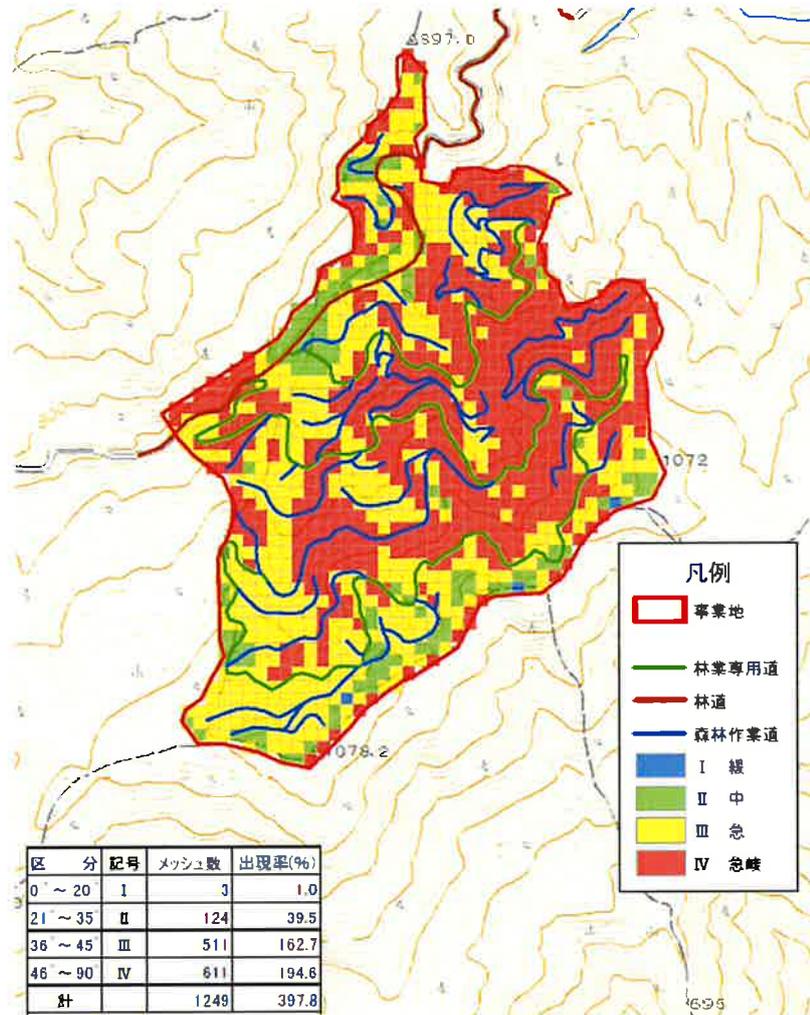
次の図は林道計画と種々のデータより利用区域をゾーニングして、森林作業道による集材エリアと林業専用道を分岐させて利用を図るエリアを Google Earth に展開した一例である。細かな分析はできないが、データの受け渡しが容易であり、フリーソフト上で展開できることから、発注者との協議等に簡単に利用できる。



図 1-21 空中写真と計画のオーバーラップ

第4項 路網計画への展開

地形解析の事例と路網計画について、1つのモデルケースにより着眼点について整理した。着眼点については図 1-22 に示した通りである。実際には図上による地形区分の後に現地踏査を行い、ペーパーロケーションで想定した計画線の位置について現地で補正する。基本的な考え方として地形の改変を最小に抑えることを前提とした路網計画としており、地形傾斜の急なところは森林作業道、主たる運材路となる林業専用道については、地形傾斜ができるだけ緩やかな箇所(図中黄色、緑)に計画するようにしている。



内容	考察点
検討条件1	事業地北側の林道を利用して事業地内に路網を作設する。
検討条件2	集材はグラップル若しくはウインチによる。
着眼点1	樹高が20m程度であることから、集材距離を考えて道路間隔は50m程度とするが、地形により道路間隔を検討する。
着眼点2	事業地内の運材路として林業専用道を活用する。
着眼点3	急峻地は地形の改変の少ない森林作業道とする。
着眼点4	林業専用道は森林利用学的区分の急峻地は避ける。
着眼点5	林業専用道までの運材はフォワーダとすることから、運材距離を300m以内とする。
着眼点6	林業専用道は事業地内だけに開設することから、事業地外に適所があっても、ヘアピン計画箇所は事業地内とする。

図 1-22 森林利用学地形区分と路網計画の着眼点

第2章 急傾斜林地での高能率作業システム

第1節 急傾斜林地での車両系作業システムと路網整備

第1項 高能率作業システムと路網整備

急傾斜林地での次世代作業システムの構築を目指し、急傾斜林地における人工林を中心とした車両系作業体系について考察する。高性能林業機械は、既に全国で7,000台（2016年現在）を突破した。高能率作業システムを構築するためには、特に大型化する次世代林業機械すなわち車両系作業システムにあった路網計画が必要である。ここでは、観点を高能率作業システムとした。

高性能林業機械はほとんど自走機能を有する機械であり、林内を自由に走行する可能性を持っており、路網は機械の走行を急傾斜地においても「線的」に可能としつつ、伐木運材作業を全て「面的」に実施可能ならしめるように量的な整備を図らなければならない。

高性能林業機械は、概して大型の自走式機械であることから、林道の構造とりわけその幅員を十分確保しておくこと。高性能林業機械は、伐倒、集材、造材の作業が複数の機械の組合せによって大規模に行われ、この作業は、路面上もしくは路側で行われることから作業が円滑に実施できるような作業ポイント、施業ポイントの設置などの構造を有すること。

以上が、森林基盤としての路網に要求される条件であるが、急傾斜地での道路の作設には構造物の作設費、土工作业等は、緩傾斜林地における作設費に比べ、多くの費用を要する。

高性能林業機械による作業システムを実現するためには路網整備が必要であり、さらに高性能林業機械は、固定的な経費（機械の購入費等）が高いことから、稼働率を高め、能率的な使用を進めることが必要である。また、作業システムの労働生産性は、特に集材距離が大きな影響を与えるため、施業の団地化・集約化等による事業規模の確保を図るとともに、路網整備と高性能林業機械が一体となった効率的な作業システムの整備が必要である。この場合、路網整備については、効率的な作業システムに対応し得るよう、森林の利用形態等に応じた規格・構造の柔軟な選択、施業の優先順位に応じた整備を推進する必要がある。

現在、現地で実行している高性能林業機械による低コスト作業システムとして主なものをあげれば表2-1のようになる。図2-1は、地形区分と集材距離に対する作業システムであり、各番号は、表2-2の作業システムを示している。縦軸に集材距離と路網密度を示し、横軸は、森林利用学的地形指数と地形区分地形区分を示した。各作業システムは地域、事業体によって幅がある。トラック等の走行に用いる林道、作業道については、計画的な施業の実施に合わせて整備することとし、また、高性能林業機械等の走行に用いる作業路については、近年の路網作設のための技術の向上も踏まえ、できる限り「簡易で耐久性のある構造」での整備を推進すべきである。

素材生産のための作業システムは、林業経営を行う上で重要な手段、技術であり、林業機械、路網と人から構成される。機械、路網と作業法とを施業地の自然条件、経営条件に最も適するように組み合わせ、効率的に安全でしかも低コスト、低環境負荷で木材の搬出を行うために構築される。作業システムは、使用する作業機械を決定した後、機械の特性、能力等適応した集材距離、路網が決定される（図2-3）。

この中で特に我が国の山岳地における森林では、従来から架線集材が多く用いられていた。高性能林業機械の中でこの急傾斜地に敵したシステムは、架線系としてはタワーヤーダ集材システムとスイングヤーダ集材システムである。

表 2-1 集材用作業システムと路網密度

地 形	路網密度	適用作業システム		地 域
I 緩	密	ハーベスタ系	ハーベスタ + フォワーダ ロングリーチハーベスタ + グラップルスキッド(スレイ付き)	北海道
	中	スキッド系	フェラー(チェーンソー) + スキッド + プロセッサ	北海道
II 中	密	グラップル系	チェーンソー + ウインチ付グラップル + プロセッサ + フォワーダ	東北九州
III 急	中	スイングヤーダ系	チェーンソー + スイングヤーダ + プロセッサ + フォワーダ(トラック)	東北 中国 九州
IV 急峻	疎	タワーヤーダ系	チェーンソー + タワーヤーダ + プロセッサ + フォワーダ(トラック)	関東九州

表 2-2 調査作業システム

伐 倒	木寄せ(集材距離m)	造材	集材(運材)
I ハーベスタ系			
① ハーベスタ	ハーベスタ(25~50)	ハーベスタ	フォワーダ
②フェラー ハンチャ	スキッド (25 ~ 100)	プロセッサ	フォワーダ
③ハーベスタ	グラップル + スレイ (25 ~ 150)	ハーベスタ	トラック
④チェーンソー	プロセッサ(25~50)	プロセッサ	フォワーダ
⑤チェーンソー	プロセッサ(25~50)	プロセッサ	フォワーダ +モノレール
II グラップル系			
⑥ チェーンソー	グラップル(25~50)	プロセッサ	フォワーダ
⑦ チェーンソー	ロングリーチ グラップル(25~75)	プロセッサ	フォワーダ
III 架線系			
⑧チェーンソー	タワーヤーダ (50~150)	プロセッサ	フォワーダ
⑨チェーンソー	スイングヤーダ (25~100)	プロセッサ	フォワーダ
⑩チェーンソー	クレーン(10~50)	プロセッサ	フォワーダ

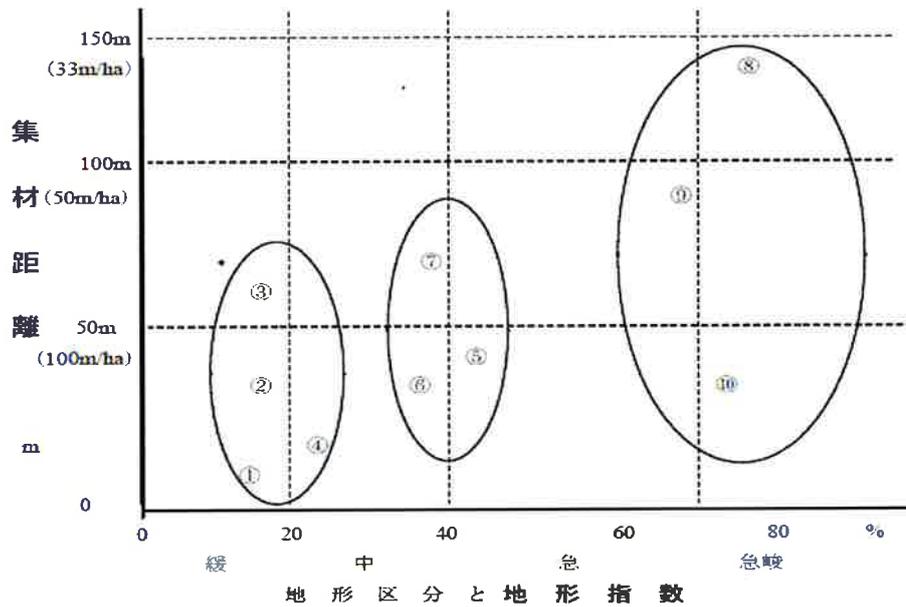


図 2-1 地形区分と作業システム

第2項 高性能林業機械による作業システム適用手順

低コスト作業システムを構築するためには、現状における状況、すなわち用いる高性能林業機械、作業者の技術状況、実行する森林の状況などを勘案し、計画することになる。低コスト作業システムを実行し、低コスト作業を実現するためには、多くの前提条件がある。例えばこのシステムは、高性能林業機械を用いることが前提になっており、そのためには搬出材積、すなわちロットの大きさは、ある程度以上の大きさを必要とする。また路網に関しても基盤となる林道整備状況も基本的に整備されていなければならない。その上に下記に示すような条件も加味して、はじめて低コスト作業が可能となっている。そのほか発注者としての事業体も協力的であり、受注者側の事業体の経営能力、技術者の技能能力も加わることである。

具体的に作業システムの開発課題を遂行するための展開フローを示すと図 2-2 のとおりである。これは低コスト作業システムを構築するための解明すべき事項の流れでもあり、地域あるいは各種作業条件に適した低コスト作業システムを開発するためには、伐出機械と路網に関する個別の項目を順次明らかにして、それらの要件を段階的に統合化していく調査が必要となる。ここでは、当該開発目標に対して4段階の解明事項があり、それらを統合化、総合化して最終的に地域に適合した最適な作業システムが構築されることになる。

全体の状況を示したのが 生産性の向上や生産コストの低減を目指した「作業システム」として、生産性および生産コストについて目標値を設定している。生産性に対しては作業システム全体の労働生産性として 10m³/人日以上を目安とし、生産コストでは、列状間伐の場合で 3,500 円/m³ 以下、定性間伐の場合で 5,000 円/m³ 以下を目標値にしている。この目的のために、特に伐出機械と路網およびその組み合わせによる作業システムを重要な要件として取り上げる。

伐出作業システムを展開するためには伐出機械と路網は不可欠のものであり、どちらか一方が不備であってもその確立は望めない。伐出機械と路網の係わりについて機械側からみた場合、その主題は伐出機械の作業適応範囲や適正な集材距離を明らかにすることである。

表 2-3 は路網を主とした作業システムの流れである。大きく分けてⅠ施業対象林の決定、Ⅱ低コスト

作業システムの決定、Ⅲ路網計画、Ⅳ作業システムの実行、である。(図 2-3) 生産性の向上や生産コストの低減を目指した「作業システム」として、生産性および生産コストについて目標値を設定している。生産性に対しては作業システム全体の労働生産性として $10\text{m}^3/\text{人日}$ 以上を目安とし、生産コストでは、列状間伐の場合で $3,500\text{円}/\text{m}^3$ 以下、定性間伐の場合で $5,000\text{円}/\text{m}^3$ 以下を目標値にしている。この目的のために、特に伐出機械と路網およびその組み合わせによる作業システムを重要な要件として取り上げる。

伐出作業システムを展開するためには伐出機械と路網は不可欠のものであり、どちらか一方が不備であってもその確立は望めない。伐出機械と路網の係わりについて機械側からみた場合、その主題は伐出機械の作業適応範囲や適正な集材距離を明らかにすることである。(表 2-3 参照)

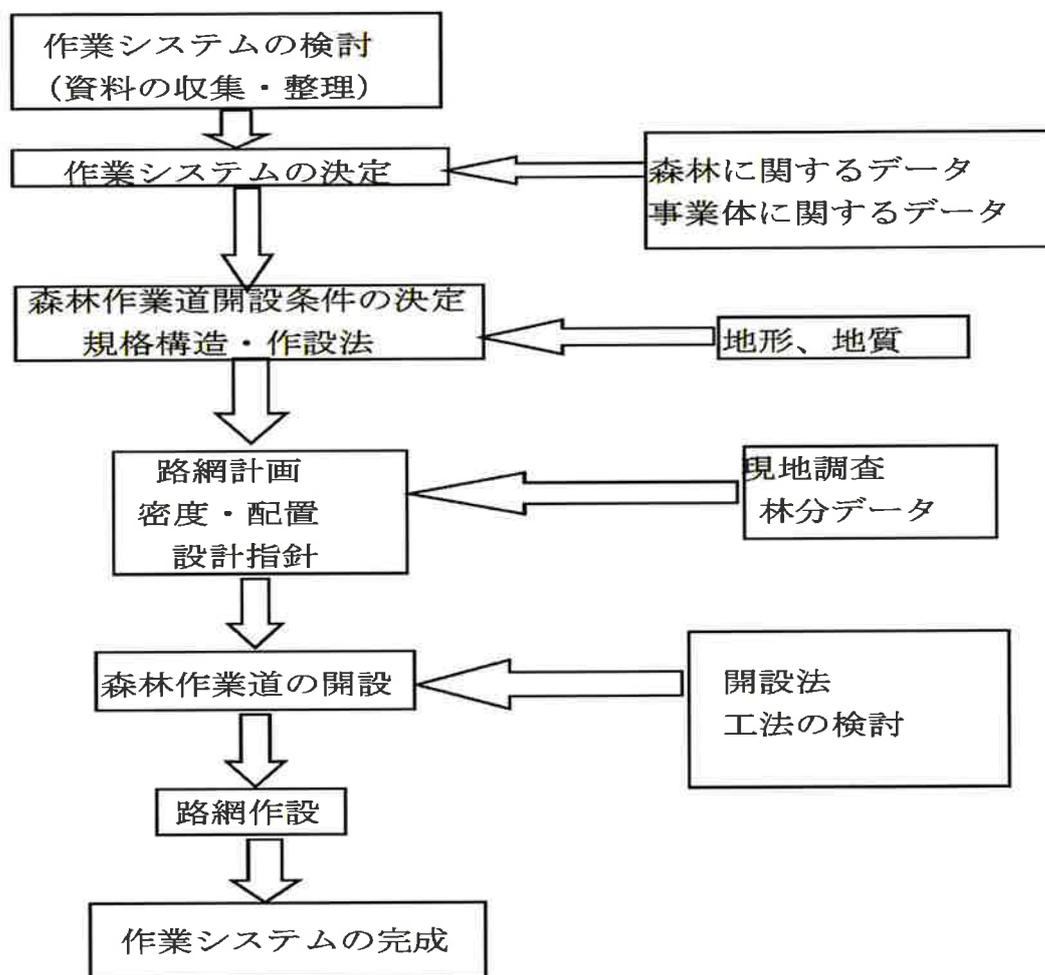


図 2-2 作業システム概念図

生産性の向上や生産コストの低減を目指した「作業システム」として、生産性および生産コストについて目標値を設定している。生産性に対しては作業システム全体の労働生産性として $10\text{m}^3/\text{人日}$ 以上を目安とし、生産コストでは、列状間伐の場合で $3,500\text{円}/\text{m}^3$ 以下、定性間伐の場合で $5,000\text{円}/\text{m}^3$ 以下を目標値にしている。この目的のために、特に伐出機械と路網およびその組み合わせによる作業システムを重要な要件として取り上げる。

伐出作業システムを展開するためには伐出機械と路網は不可欠のものであり、どちらか一方が不備であってもその確立は望めない。伐出機械と路網の係わりについて機械側からみた場合、その主題は伐出機械の作業適応範囲や適正な集材距離を明らかにすることである。

表 2-3 路網を主とした作業システムの流れ

I	<p>施業対象林と事業体の決定</p> <p>1) 森林簿、調査による森林に関するデータの収集 (樹種、林令材積、間伐率、地形、地位、林道からの距離等)</p> <p>2) 事業体の決定 (所有する高性能林業機械、オペレータ、作業員、施設等)</p>
II	<p>低コスト作業システムの決定</p> <p>1) 上記データによる作業システムの決定 (使用する)高性能林業機械、オペレータ、作業員、施設等)</p> <p>2) 集材方法、集材距離、搬出機械から作業道の幅員の決定</p>
III	<p>路網計画</p> <p>1) 適正な路網密度の決定</p> <p>2) 作業システムにあった適正作業路延長の計算</p> <p>3) 図上における路線選定</p>
IV	<p>低コスト作業の実行</p> <p>1) 現地における作業路の路線選定</p> <p>2) 作業路作設計画と実際の作設</p> <p>3) 対コスト作業システムによる作業の実行</p> <p>4) 作業の結果と日報の整理</p>

林業機械等は、本来、急斜地や不整地に対応する機械として開発されたものであるが、安全で能率的な作業を可能にするには路網は必然であり、いかに路上外の作業を少なくするかが問題である。すなわち、機械の路上外作業の可能な限界範囲や適応可能な作業域を明確にすることであり、機械側からみた路網へのアプローチはその作業域をカバーするような路網をいかに適正に配置するかである。

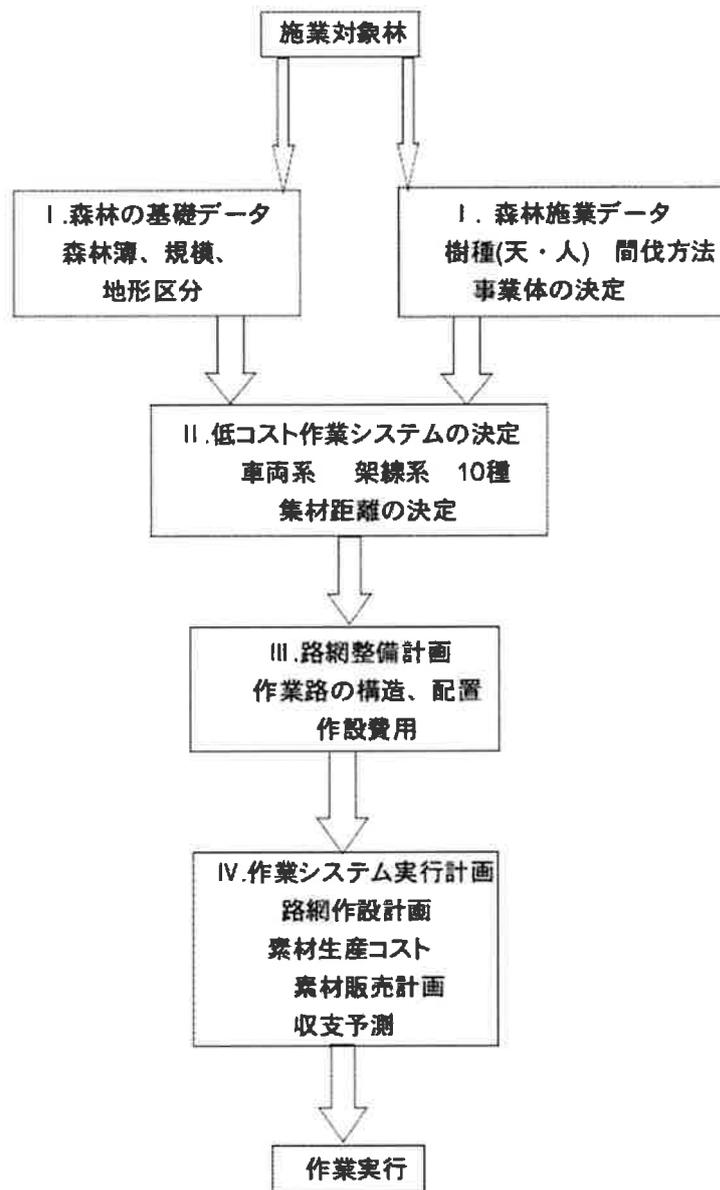


図 2-3 低コスト作業システムの展開フロー

第2節 急傾斜林地での車輛系作業システム

急傾斜林地での車輛系作業システムについて、比較的効率的に行われている栃木県内事業者の作業システムについて調査し考察した

第1項 作業システムの概要

① A森林組合の作業システム

現地は、雪害の復旧のための森林整備事業で、皆伐作業である。進入箇所林地傾斜は 30° 作業現場は 40° から、急な所では 46° である。森林利用学的地形区分ではIV区分(急峻地形)であった。(図 2-4 参照)

急な箇所でも、車両が入らないと作業ができないため、作業道(幅員 3.0m)を可能な限り開設している。

一部の作業路は、傾斜 45° 程度で岩盤が露出している沢で終点となっている。斜面の下方に人家があるため、作業路の下側の4~5列は切り株の高さを高くし、枝条を置いて土砂・丸太等の落下防止を図っている。(図 2-5 参照)

作業の能率は、この現場は雪害木の片付けのため比較できないが、A森林組合の作業システムは、表 2-4 に示すとおりで、チェーンソー伐倒、バックホウ等のウインチで単なる地引で引き出し、造材はチェーンソーまたはプロセッサで、山土場までの集材はフォワーダ(U-4)で行っている。A森林組合では、おおむね $15\sim 20\text{ m}^3/\text{日}$ (1班3人)を目安としており、4班体制で伐採搬出を行っている。

現在は、リースのプロセッサを使用している班も、順次自前のプロセッサに切り替えていく方針である。A森林組合の問題点は、図 2-4 でもわかるとおり急傾斜であるため車道幅員が3.0mしか取れず大型車による効率的な作業ができないことである。急傾斜地では、車両は林内に入れなく、道路を利用して作業することになるため、集材・造材が効率的にできる作業ポイントが必要となる。

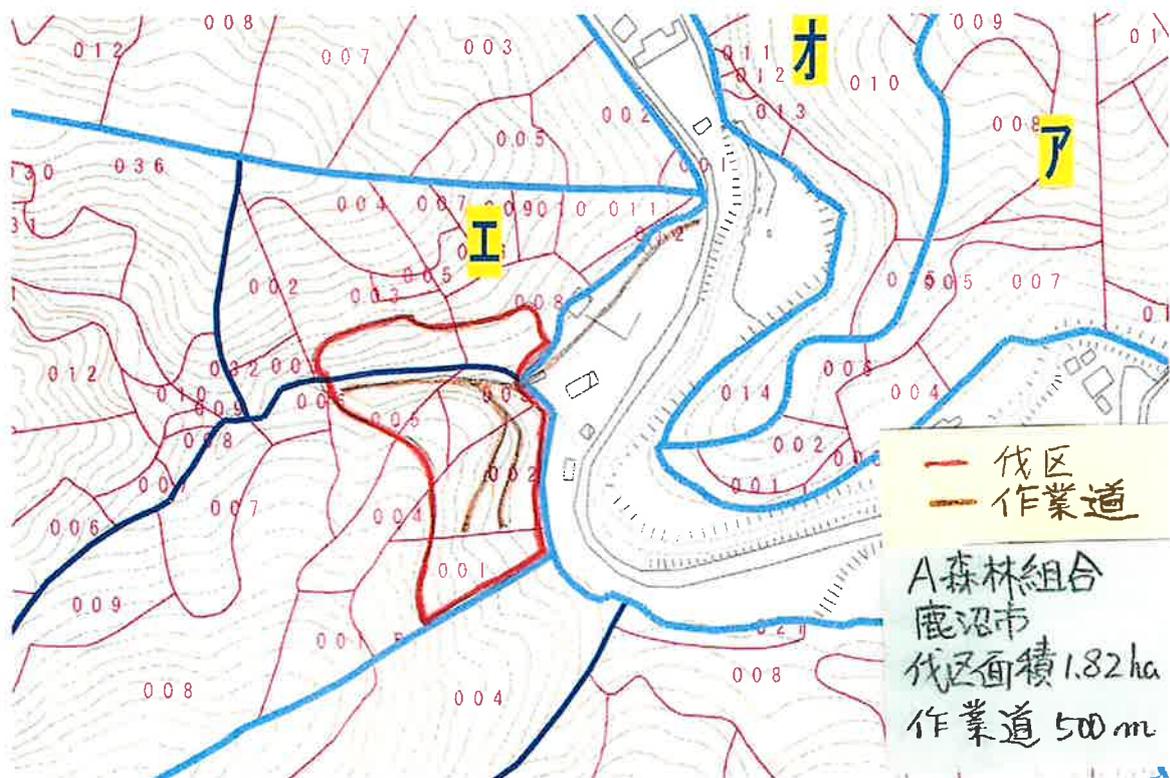


図 2-4 A森林組合作業図



図 2-5 A 森林組合の森林作業道

表 2-4 A 森林組合作業システム (雪害復旧)

伐倒 チェーンソー	⇒	木寄 (全木) ・バックホウ等のウインチ ・グラブローダ	⇒	造材 チェーンソー	⇒	集材 (土場まで) フォワーダ
伐区面積	1.82ha	作業道	500m	路網密度	274m/ha	
生産性	15 m ³ /日(3人体制)、5 m ³ /人・日					

A 森林組合では、通常間伐で、土場までの伐木、造材、集材の経費を約 7,500 円/m³と見積もっている。内訳は、表 2-5 のとおりである。

表 2-5 A 森林組合の作業コスト

項目	間伐 (円/m ³)	皆伐 (円/m ³)
伐木・造材・集材	4,320	2,880
労務対策費等	687	458
機械経費	2,520	2,520
計	7,527	5,858

※作業路作設経費 1,000 円/m³は別途。

表 2-6 素材生産の生産性・生産費 (全国)

(単位：m³/人日、円/m³)

	生産性	生産費
主伐 (全体平均)	4.00	6,342
高性能林業機械を用いたもの	5.26	5,162
間伐 (全体平均)	3.45	9,333
高性能林業機械を用いたもの	4.35	9,144

資料：林野庁業務資料

注：平成 20 (2008) 年度の値

全国平均 (表 2-6) と比較した場合、少し高能率となっている。A 森林組合では、急傾斜地でも極力作業路を入れて、作業することとし能率を上げている。

②S 林産の作業システム

林地に太陽光発電設備を設置するための、皆伐作業の現場であり、この現場も 40° 程度の林地に作業道 (w=4.0m)をいれ、伐採搬出した。作業地は、図 2-6 に示すように、同じく地形区分ではIV区分 (急峻地形) になる。

作業道開設と支障木伐倒は、フェラーバンチャーザウルスロボで行っている。路網作設と伐倒を 1 台で行うことができ効率的である。45° 程度の傾斜でも等高線方向に沿っていけば開設できるという。車両が入らないと作業ができないため、遠回りをしてでも現場に到達するよう路網を計画している。

作業システムは図 2-7～図 2-10 に示すように、ハーベスタ、バックホウ等のウインチ、フォワーダの組み合わせである。一部で、道がつけられないところの伐採搬出では、木寄せに自前の移動式集材機を使用した。この移動式集材機は、S 林産では、高価なタワーヤーダの代わりに手持ちのフォワーダの前面にこれも手持ちの 2 胴の小型集材機を取り付けたものである。ウインチの牽引能力は 1t、200m の距離をハイリード方式で木寄せした。フォワーダの自重は 2t なのでウェイトやアンカーは取っていない。

S 社長によると、フォワーダは作業道の構造にもよるが、重量が重いものは動きにくい。現在は、積載量 3t クラスで、自重 2t のものを使用している。木寄せウインチに繊維ロープを使用していて強度もあり軽く効率的な反面、切削に弱いという問題点があるため、この点の改良が必要である。

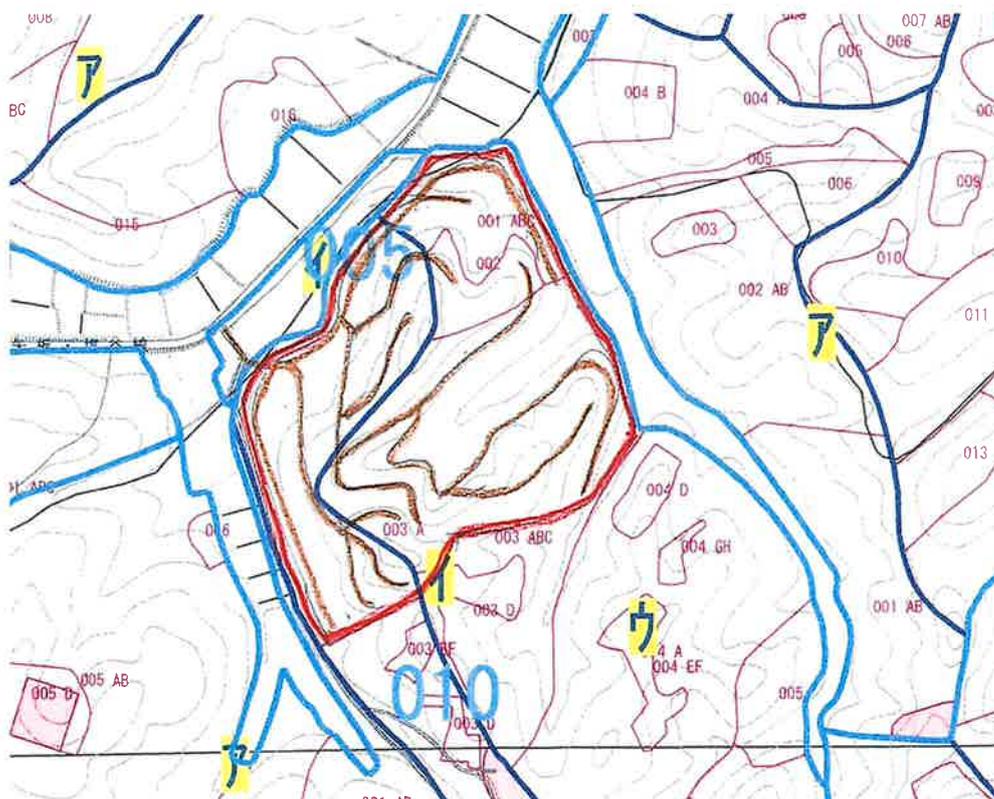


図 2-6 S 林産施業図



図 2-7 S 林産ケトーハーベスタによる造材



図 2-8 S 林産ハーベスタ付属のウインチには繊維ロープ



図 2-9 S 林産集材機を載せたフォワーダ



図 2-10 S 林産森林作業道

表 2-7 S 林産作業システム

伐倒 ・ハーベスタ ・ザウルスロボ ・チェーンソー	⇒	木寄（全木） ・バックホ等のウインチ ・グラップルローダ ・移動式集材機（一部）	⇒	造材 ハーベスタ	⇒	集材（土場まで） フォワーダ
伐区面積 7.30ha 作業道 2,050m 路網密度 280m/ha						
生産性 30 m ³ /日(2人体制)、15 m ³ /人・日						

S 林産では、皆伐で土場までの伐木、造材、集材の経費を通常 5,000 円/m³程度と見積もっている。全国平均（表 2-6）と比較して、かなり高能率・低コスト（10 m³/日、1,000 円程度）になっている。

作業区域面積が 100ha 以上になると自社で作業がしやすいように路網がつけられるため、伐倒もほとんどハーベスタが使用でき、チェーンソーによる伐倒は 5%未満になってくる。この場合、伐木、造材、集材の経費が 3,000 円/m³も可能である。3,000 円/m³であれば、今まで林内に残してきた D 材をチップとして利用できることになる。

D 材が販売できれば、素材生産業者、森林所有者ともにメリットがあることになる。

③ T 木材における皆伐作業

県営林の皆伐の現場である。この現場も、30°～40°の傾斜で地形区分は同じく IV 区分（急峻地形）である。作業システムは、伐採はチェーンソー、造材はハーベスタまたはプロセッサで、木寄積み込みはグラップルローダで、集材はフォワーダ（U-5）という組み合わせである。T 木材は、この組み合わせ

せの班を3班持っている。(表 2-8)

作業道 (W=4.0m) を作設して作業している。T木材もフェラーバンチャーザウルスロボで作業道作設と支障木伐採を行っている。図 2-12 で分かるように、作業道開設時の支障木は作業道の下側のり面に数本づつ並べて置いていく。その後、図 2-14 にあるようにハーベスタで造材していく。土場までの集材は図 2-15 のフォワーダで行う。

通常のパフォーマンスは、山土場まで 30~40 m³/日 (1 班 3 人) である。

T木材として作業で工夫していることは、作業道作設時の支障木伐倒はフェラーバンチャーザウルスロボで行いチェーンソーは使用しない。理由のひとつは、チェーンソーで先行伐採すると、線形を変更しなければならなくなったとき、二度手間になること。二つ目は、チェーンソーとバックホウの組み合わせは二人体制であり、ザウルスロボは一人で行えることである。

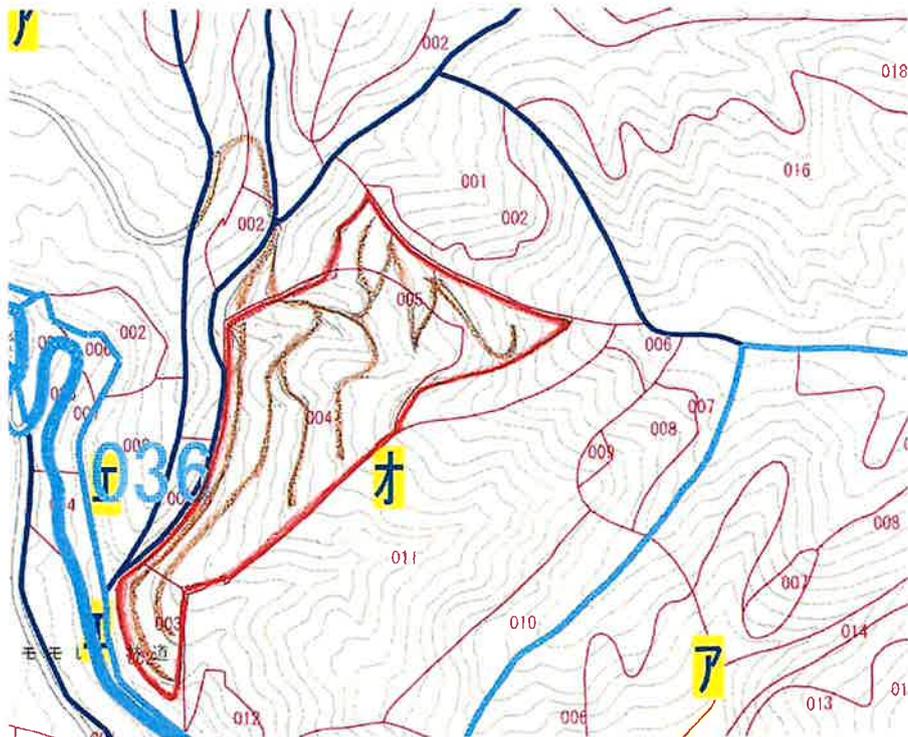


図 2-11 T木材施業図



図 2-12 T木材フェラーバンチャーザウルスロボによる作業路作設



図 2-13 T木材フェラーバンチャーザウルスロボ



図 2-14 T木材イワフジハーベスタによる造材



図 2-15 T木材U-5で運搬

T木材は集材機を持っていて、道をつけられないところで、400m～500mを架線で集材することはあるが、道を入れられない山では、基本的に仕事をしない（買わない）方針である。

T木材での問題点は、効率化のためにフォワーダや運材トラックが大型化するにつれ、作業道開設時に切土量が多くなり、災害の危険性が増すこと、また、広い作業ポイントが必要になるということである。

表 2-8 T木材作業システム

伐倒 ・チェーンソー ・ザウルスロボ (道路の先行伐採時)	⇒	木寄 (全木) ・バックホウ等のウインチ ・グラップルローダ	⇒	造材 ⇒ ハーベスタ	⇒	集材 (土場まで) ⇒ フォワーダ
伐区面積 3.83ha 作業道 1,400m 路網密度 365m/ha 生産性 40～50 m ³ /日(3～4人体制)、10～16.7 m ³ /人・日						

表 2-9 T木材の実行経費 (皆伐) の例

項目	金額 (円/m ³)
チェーンソー伐採	250～350
造材・集材・作業道作設費、燃料費	3,800～5,000
計	4,200～5,300

全国平均 (表 2-6) と比較して、かなり高能率・低コスト (5～10 m³/日、4～5,000 円程度) になっている。

④Y フォレストの場合

私有林の皆伐跡地への植栽の現場である。この現場も 20°～40° の傾斜で地形区分ではⅢ～Ⅳ区分 (急～急峻地形) である。(図 2-16)

地拵えの方法に特徴がある。林業経営で造林から収穫までの全体の経費を抑えようとするとき、これまでは伐採搬出の効率化が多く議論されてきた。

しかし、伐採跡地に植栽する場合は、搬出しなかった残材が林地に残っているため「地拵え」を行う必要がある。この費用もばかにならない額になる。

Yフォレストでは、伐採搬出の作業方法を工夫することにより地拵え経費を限りなくゼロに近く抑えている。Yフォレストでは、地拵えの費用を削減するため伐採搬出時に連続してグラップルローダなど

で地拵えまで行う方法をとっている。言い換えれば地拵えが必要ない方法をとっている。

特徴として

① 全木で道路上に木寄せ、プロセッサ造材を行うので、道路沿いに枝条が集まるだけで林内に残材が残らない。

② A材、B材、C材（チップ用）と採っていき残りのD材からもバイオマス発電用として利用できるものを搬出する。その結果、道路沿いに少し枝条が残るだけとなる。

地拵えが不要になると、植栽時に一般的にha当たり10～20人分のコストダウンとなる。

その他、Yフォレストで特徴的なことは、木寄せに繊維ロープを使用し、台付け（スリング）も繊維ロープを編んで自家製のものを使っている。繊維ロープの台付けはワイヤーロープのように油がついてないので汚れにくく、また、まとめると、作業服のポケットにも入るくらいの大きさになり、それを持つての移動が楽である。

バックホウで、バケットやグラブルの交換時に、アタッチメント脱着装置を使用していることである。ワンタッチで装着できるため、通常20分かかっていた作業が5～6分に短縮でき作業効率が向上している。

Yフォレストでの問題点は、当事業体に限ったものではないが、運材の効率化と造林経費の低コスト化があげられる。

運材の効率化としては、各現場で、ハーベスタ、プロセッサの使用が一般的になり、習熟したオペレーターも増えてきている。そのため伐木・造材・集材の能力は一定のレベルに到達していると考えられる。そこで、集積された材の市場・製材工場等への運材も当然効率化・低コスト化が図らなければならない。運材トラックの大型化や荷台の脱着式トラックの導入を検討していく必要がある。

造林経費の低コスト化としては、ひとつは、最近普及し始めているポット苗の運搬も含め効率的な植栽の仕方の検討。もう一つは獣害対策、シカ柵や忌避剤等効率的で効果のある対策の検討が必要である。

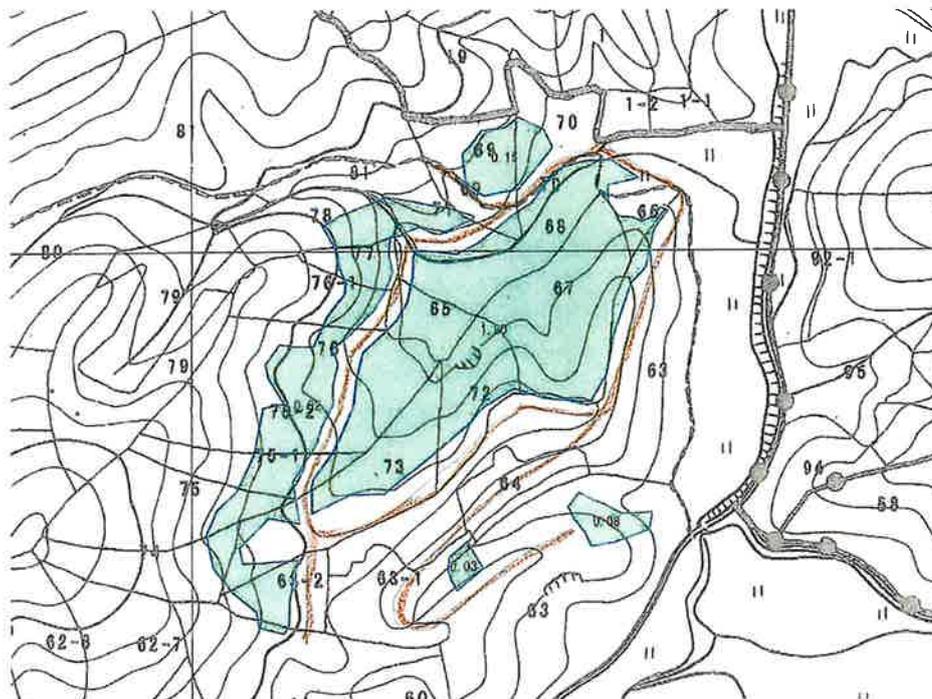


図 2-16 Yフォレスト施業図



図 2-17 Yフォレスト事業地



図 2-18 枝条整理の状況



図 2-19 伐採跡地の状況



図 2-20 繊維ロープの台付け

表 2-10 Yフォレスト作業システム

伐倒 チェーンソー	⇒	木寄せ (全木) ・バックホウ等のウインチ ・クランプローダ	⇒	造材 プロセッサ	⇒	集材 (土場まで) フォワーダ	⇒	地寄せ クランプローダ (集材時に同時に行う)
伐区面積	6.26ha	作業道	1,400m	路網密度	224m/ha	生産性	40~50m ³ /日(4~5人体制)	
植付	14人/ha(植栽のみ)							

表 2-11 Yフォレストの実行経費 (間伐) の例

項目	金額 (円/m ³)
伐木・造材・木寄せ	3,600~4,000
集材	1,200~1,500
計	4,500~5,500

全国平均 (表 2-6) と比較して、かなり高能率・低コスト (4~6 m³/日、4~5,000 円程度) になっている。

第2項 各事業体のコストの現状と作業システムの問題点

各事業体のコストとして、間伐は4,500～7,500(円/m²)、皆伐は4,200～5,800(円/m²)、であった。どちらも、高能率、低コストであった。

①急傾斜林地における車両系作業システムの問題点・課題

・全国の森林が収穫期に入っており伐倒木の径も大きくなっている、対応する機械も徐々に大きくなってきている。しかし、大型の機械のほうが能率は上がるが、作業道の作り方や土質により、重量の重い機械は、動きにくいこともあり、大型の機械が必ずしも、能率がよいわけではない。同じ能力であれば軽量で小回りがきく機械の開発が望まれる。

・現在急傾斜地で効率的に作業できる機械はない、急傾斜地で移動と作業ができる機械の開発が必要となってくる。

・基本的に、ウインチを使って木寄せする場合、ワイヤーロープでなく繊維ロープを使う事業体が増えている。繊維ロープは軽くまたキックも起こしにくいいため、林内の引き回しが楽になる。ただ、切削に弱いという問題点があるため、この点を改良していく必要がある。

・急傾斜地では、車両は林内に入れなく、道路上の作業ポイントを利用して作業することになるため、集材・造材が効率的にできる作業ポイントの設置が必要となる。

・造林(植付、獣害対策等)の低コスト化も検討していく必要がある。

・プロセッサ。ハーベスタの普及により、伐木・造材・集材の能率向上に伴い、市場や製材工場等への運材の効率化が求められており、トラックの大型化や荷台の脱着式トラックの導入も検討していく必要がある。

・基本的に、車両が現地までいかない限り作業はできないため、急傾斜地でも路網の整備が必要となる。

・伐採後も、造林・管理などに道は必要であるので、こわれにくく維持管理しやすい道が必要である。同時に適切な道路のメンテナンスたとえば横断排水の管理が必要である。

・効率化のためにフォワーダやトラックが大型化すると、作業しやすい土場の面積の確保が必要になる。

・各事業体は、現在保有の機械を使って作業するため、その事業地・システムにふさわしくなくても、自己保有の機械を使用し、最善の効率を上げられていない。

・大型の機械は能率がよくても、購入単価が高く、事業体にとっては、高嶺の花である。行政から共同利用や購入への補助制度の拡充が求められる。

・大型のクローラタイプフォワーダは砂利道では路面が緩んでしまうことがあるため、ホイールタイプの機械の開発が望まれる。

・傾斜地に限らず効果的な道を入れるためには、その区域の森林所有者に対し森林路網への理解を得る必要がある。

第3項 今後の課題

前項を踏まえ、ここで取り上げたシステムの今後の課題について考えて見る。

路網と車両系の関係からシステムは、2つのタイプに分けられる。

1) 小規模車両系タイプ(急傾斜と土質の関係で幅員3.0m程度の路網しか入れられない場合。)

市場・製材工場への運搬は、コスト削減のためには、大型車が入れるところに土場を作り、そこに一旦材を集積しておくシステムとなる。

2) 大規模車両系タイプ(急傾斜ではあるが幅員4.0m以上の路網が入れられる場合。)

伐倒はチェーンソーであるが、造材はプロセッサ、集材は大型フォワーダを採用できるため能率のよいシステムである。

木寄せについて、大型車両が入る場合は、路網密度(木寄せ距離)によって以下の林業機械を使い分ける。

表 2-12 木寄せ林業機械(総合修正係数=1.5)

適用路網密度	木寄せ距離	集材機械
150m/ha～	0～50m	グラップルローダのウインチ
75～150m/ha	50～100m	スイングヤーダ
～75m/ha	100m～	タワーヤーダ、集材機

上記の表中で、路網密度「～75m/ha」の場合について

どうしても路網が入れられない区域が残ってくるため、架線による集材になるが、この場合でも集材機やタワーヤーダの設置場所、荷下ろし土場までは車両が入らなければならないため車両系と架線系の組み合わせとなる。

上記の2つのタイプごとに、運材までの工程を含めてどのように発展させていくか検討していく必要がある。

第3節 急傾斜林地での高能率架線系作業システム

急傾斜地での作業システムは、急斜面に直接アクセスできる車両機械がいまだ出現していない以上、今後も架線系機械に頼らざるを得ない。それゆえ急傾斜林地での作業システムの高効率化には架線系集材機械自体の高性能化と集材機械を取り巻く作業システムの改良・改善が必要である。そこで、近年の開発がすすめられた架線系集材機械の技術革新に焦点を当てて調査した。さらに、その中から路網整備と架線系、車両系の組み合わせによる作業事例としてH型架線による作業システムについて取り上げることにした。

第1項 最近の架線系機械の技術革新

近年、素材生産における新しい林業機械の開発・改良に架線系機械に関するものがいくつか見られるようになった。例えば、平成24年度林野庁補助事業先進的林業機械緊急実証・普及事業において採択された21事業体の作業システムを中心となる林業機械の種類によって分類すると、架線系機械を主体としたものが13事業体、車両系機械を主体としたもの8事業体と架線系機械が優勢を占めた。さらに、これら13事業体の架線系機械の内訳ではタワーヤーダが8事業体、スイングヤーダが2事業体、集材機が3事業体と、ここ数年来架線といえばスイングヤーダという傾向とは異なる新たな潮流を見ることができる。これらのことはこれまでの作業システムの高効率化が車両系機械一辺倒から架線系システムが再認識され架線系システムの必要性が見直されつつあることを示している。すなわち、急傾斜地のように十分な路網が整備できない場所へ対応するためには架線系システムが必要であり、それも集材距離が長い架線を必要とするとともに今後の主伐期を迎えた大径材搬出への対応を迫られているからである。

以下に、近年開発された先進的な架線系機械および装置のうち注目すべき機械・技術を紹介しその特徴を記すことにする。

1) 油圧式集材機

従来の集材機は、エンジンで発生した動力をクラッチ、変速ギア、ブレーキなど機械的な装置を通して直接ドラムへ伝達、制御を行っていた。これに対して油圧式集材機(図2-22)は、エンジンで油圧ポンプを駆動し、発生した油圧によりドラムの駆動、制動を行うものである。油圧駆動にすることによりドラムの制御(図2-21)がし易くなりインターロックなどのドラム間の協調運転が可能(図2-23)となること、動力回生による省エネ運転が実現できるなどの利点が考えられる。また、油圧制御を無線によるリモートコントロール(図2-24)で行えば集材機に人が張り付く必要が亡くなり省力化の実現につながる。他方、油圧装置の装着に伴う機械の高コスト化と作動油や油圧ホースなどの

消耗品、保守費の上昇などの欠点が挙げられる。

この油圧集材機をさらに改良・進化させた2号機(図2-25)では、集材機本体を動力部とドラム部に分割ユニット化し、集材機の運搬と設置の負担の軽減が図られている。また、3胴ドラムの完全油圧制御を実現し、ドラム間の協調運転はいうに及ばずバックテンションの調整機能を有する。この調整機能によりドラムの直引力の低下を防ぐことができ省エネに貢献することができる。ウインチドラムの無線制御による搬器の自動走行も可能となる。



図 2-22 油圧式集材機(1号機)全形



図 2-21 油圧式集材機の制御モニタ



図 2-23 油圧式集材機操作レバー



図 2-24 油圧式集材機のリモコン装置

= 2号機 = (平成27年度事業にて製作)



図 2-25 ユニット化された油圧式集材機
2号機 ((株)前田製作所パンフレットより)

2) 繊維ロープを使用した主索ウインチ付ポストアームスイングヤーダ

このスイングヤーダの特徴は、アームに折りたたみ式のタワーを取り付けることとアーム先端のグリップを地面に接地することによりスイングヤーダをタワーヤードのように安定して使用できることである。(図 2-26)主索が装着されているため索張力が分散され、ホールバックラインのバックテンションが軽減されるため同じクラスのスイングヤーダに比べ大径材を搬出することができる。また、搬器をコントロールする作業索を有するため、搬器を小型化することができ動力の浪費が少ない。ドラム



図 2-26 主索ウインチ付ポストアームスイングヤーダ

の制御を多様化することにより多様な索張りに応用することが可能である。なお、最大の特徴としてロープにワイヤロープではなく繊維ロープを使用している

点が挙げられる。使用している高分子繊維ロープは同じ径のワイヤロープと比べ、強度は同程度かやや強にもかかわらず質量は約6分の1と軽く、しなやかでキンクも起こらず扱いやすく油で汚れないなど作業者には好評である。一方、他物との接触による磨耗がしやすく、その耐久性の低下とロープの価格が高価であることなどの短所を有する。繊維ロープについては、控え索への使用など、磨耗が少ない箇所からの導入が見込まれる。

3) アタッチメント式タワーヤーダ

この機械は、前述の主索付きポストアーム付スイングヤーダを大型化発展させた機械といえ、スイングヤーダにタワーヤードの機能を付加した機械ともいえる(図 2-24)。折りたたみ式のタワーではなくより大型のアタッチメント式タワーを取り付けることにより専用のタワーヤードの代替にしようとするものである。ただし、ロープには繊維ロープではなく従来のワイヤロープを使用している。

タワーヤーダとして近年、外国製の大型機械が紹介輸入されているが、幅員や路面・橋梁の耐荷重などの国内の基盤整備の諸条件に合っていないため、基盤整備が十分でないところでも使用できる機械として開発されたと考えられる。このアタッチメント式タワーヤーダの先駆的機械としてクイックタワー(図 2-25)がある。この機械は高額な外国製タワーヤーダを少しでも安価にできないかとして考え出された機械である。



図 2-27 アタッチメント式タワーヤーダ



図 2-28 東白川森林組合のクイックタワー

4) 高性能搬器

外国製のリフトライナー、ウッドライナー（図 2-29）が該当する。特にウッドライナーは搬器に装着されたエンジンと油圧装置、内臓ドラムにより走行と荷の上げ下げができるため主索1本で作業ができるため架設が容易である。搭載するエンジンが強力なため非常に高速な走行が可能であるほか、中間支柱を通過する際の減速走行の設定などプログラムによる多様な走行制御機能を有する。しかし、特殊で高価なワイヤロープを使用する点が難点である。搬器の質量が大きいこと高速走行することから400～600mの中長距離の架線や中大型のタワーヤードと併用して用いることになる（図 2-30）。



図 2-29 高速走行搬器ウッドライナー



図 2-30 大型タワーヤードコンラッド社製 KMS-12

この外国製高速自走搬器に対抗して国産の自走式搬器メーカーが新たに高速バージョンを開発した自走式搬器が（図 2-31）である。外国製に比べ小型軽量で従来の国産のものに比べ走行速度が向上が図られている。今後の使い勝手など運用実績の良し悪しが普及に影響すると考えられる。

搬器の高速化とは別の機能を持った搬器としてとして、ローディンググラップルがある（図 2-32）。これは、搬器に下降・上昇するグラップルを装着し、このグラップルを搬器に装着したカメラにより集材機のオペレータが遠隔操作して集材木を掴んだり放したりするものである。この機能により危険で重労働である荷掛け作業を省力化を狙って開発された機械である。



図 2-31 国産高速自走搬器

導入機械（ローディンググラップル）



図 2-32 国産高性能搬器ローディンググラップル

5) 自動索巻取り機

主索巻取機自体は新しい機械ではないが、今回、上述の油圧式集材機とあわせて新規に開発された（図 2-33）。巻取ドラムが本体から分離できる特徴をもつ。架線系作業システムでは索の引き出し、巻取りのという付帯作業が必要不可欠である。特に、今後の集材機の大形化、架線の長距離化の傾向であれば

使用する索の大径化は避けられず、架線の架設撤去の省力化と作業負担の軽減は生産性向上に影響する重要な要素である。主索巻取機は集材作業を直接高能率化するものではないが、集材架線の架設撤去作業の短縮と軽減により間接的に高能率化に寄与するものである。この主索巻取機を索、特に主索の使用した場合の現場での聞き取りによれば、スパン長 800mの主索の撤収に 3 人作業で半日掛かった作業が、主索巻取機を使うことにより 1 人作業 1 時間ですむということであり著しい効果が期待される。

なお、この主索巻取機は巻取ドラムが分離できるため本体は 1 台あればよく、巻取ドラムをいくつか用意しておけば、複数の現場に対応できるほか、索の保管にも便利である (図 2-34)。



図 2-33 自動主索巻取り機本体



図 2-34 分離した巻取ドラム

6) オートチョーカー

オートチョーカーは、架線で玉掛けした材の荷外しをリモコン操作でできるようにした装置である (図 2-35)。荷外し作業は、土場に到着した材から荷掛けロープのフックを外す作業であるが、この作業のために作業員が材まで移動する必要があること、不安定な積みあがった材に登って作業をしなければならないこと、線下作業であることなど危険で負担の多い作業である。オートチョーカーを使用することにより、作業員はプロセッサな



図 2-35 オートチョーカー

ど機械から降りることなくボタン操作一つで荷外しを行うことができるため、作業時間の無駄を省くことができ

生産性の向上が期待できるほか、作業負担や危険が軽減できる。岐阜県での調査では、オートチョーカーの使用により生産性が 5~14%向上したとの報告がある。ただオートチョーカーは従来のスリングロープと較べ若干重くなるため、山土場での荷掛け手の負担が増すという欠点がある。このため、さらなる軽量化の工夫が望まれる。

なお、国産化によりオートチョーカーの価格は外国製のおよそ 3 分の 2 程度で入手できるようになっている。

7) 屈曲式搬送装置

屈曲式搬送装置は自伐林家などの小規模林業が急傾斜地で架線による間伐材などの集材が行えるように開発された装置である。小規模な林業では上述の本格的な架線や大型機械を使用するのは経済的でない。そのため簡易な方法の架線を架設して集材を行うが、この場合、架線は直線的になる。地形などにより方向を変えなければならない場合、けん引方向と架線の走行方向にずれが生ずるため、通常、方向に応じて架線を別々に架設する必要がある。この装置は、屈曲のある架線においてけん引方向と走行方向を一致させることにより、安全に効率的に作業ができるようにする装置である。



図 2-36 屈曲式搬送装置

8) 軽量滑車の開発

架線集材には生産に直接影響する因子ばかりでなく間接的に影響する作業因子が多く存在する。特に架線の架設撤去はその最たるものである。それゆえ架線に多く使われる滑車の軽量化は重要である。また、昨今のワイヤロープの代わりに繊維ロープを使用する例がみられ、この観点からも軽くて繊維ロープへの負担が少ない軽量滑車の開発普及は重要である。このような必要性から滑車についても改良開発が行われている。

以上、注目すべき新しい架線技術の概要を記したがこれらの技術を単独で導入することである程度の生産性の向上を期待できるが、より高能率を目指すためには複数の技術の導入とそれら技術と既存の技術を上手にマッチングさせた作業システムを構築することが必要である。

次に、H型架線を主体とした急傾斜地での作業システムの現地調査の結果について報告する。

第2項 H型架線を主体とした作業システム

急傾斜林地での高能率架線系作業システムとして、H型架線を主体とした作業地を検討対象に選び調査した。H型架線を選択した理由は、急傾斜で大面積な作業林地に対して架線系を基本的システムとし、車両系で補完する「架線系と車両系の組み合わせ複合システム」（とされいほくパンフレット 2015、とされいほくの「間伐作業システム」と「プランニング」）を構成することができるからである。

(1)H型架線とは

H型架線は、図 2-37 に示すように 2 組の集材架線（図中架線 1 および架線 2）を平行に架設し、それぞれの架線の荷上索（図中荷上げ索 1 および荷上げ索 2）を結合してアルファベットの H のような形をした索張りである。組み合わせる集材架線により数種類の索張りがあるが、図 2-33 はエンドレスタイラー式架線よりなる H 型架線で代表的な例である。

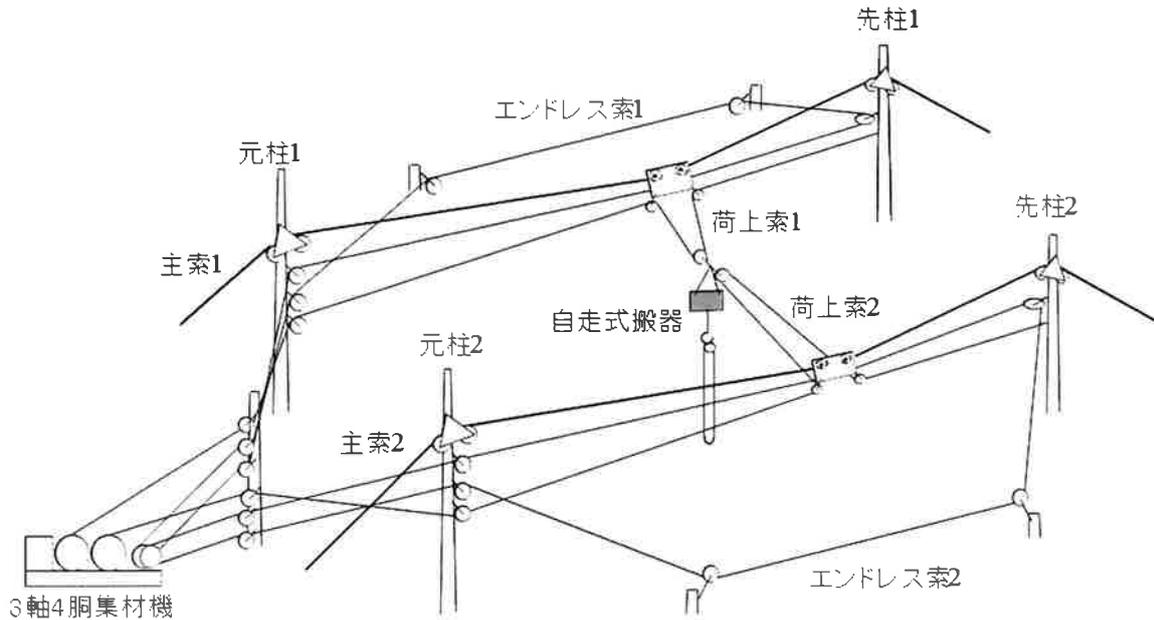


図 2-37 エンドレスタイラー式H型架線

H型架線の操作は次のようにして行う。

- ①集材木の吊り上げあるいは空フックの上げは、荷上索1または荷上索2のドラムを操作して荷上索を巻き取ることにより行う。逆に、集材木の荷降ろしあるいは空フックの降下はどちらかの荷上索を適宜繰り出すことにより行う。
- ②集材木の移動(実走行)あるいは空フックの移動(空走行)のうち搬器と搬器を結んだ方向の移動は、例えば荷上索1を巻き取り荷上索2を繰り出せば搬器1方向へ移動し、荷上索2を巻き取り荷上索1を繰り出せば搬器2の方向へ移動する。
- ③集材木あるいは空フックを元柱または先柱の方向すなわち架線方向へ移動(実走行あるいは空走行)させるには、エンドレス索1とエンドレス索2のエンドレスドラムを同時に同じ方向へ操作して2つの搬器を走行させることにより行う。

H型架線では吊荷を完全に吊上げた状態で集材を行なうことができるので残存木や林地への影響が少なく、複層林の主伐材や択伐材の搬出に適するのをはじめ高知県では定性間伐による間伐材の搬出に使われている。

しかし、H型架線の吊荷の垂下量は非常に大きく、線下の高さはスパン長にもよるが150~200m近く必要とするためH型架線が使用できるか否かは地形の適否が大きく影響する。そのため、深い谷を挟んだ尾根と尾根の間に架設するのが適当である。また、索張りがやや複雑で架設の労力が大であるから、一度に広い面積のH型架線が架設できることが望まれるが、現実にはその様な適地は稀であるので、実際の架線の規模はスパン長が1000m前後、架線と架線の間隔を100~200mとして、順次張り替えていくのが地形的に妥当である(近藤、2005)。2組の架線は平行で同じ高さに架設できることに越したことはないが、H型の形が極端にいびつでない限り力学的には問題なく、スパン中央で架線の安全率が確保されれば、任意の位置における索張力の安全率を下回ることはない(近藤、2006)。ただし、集材木の吊り上げや空フック上げのような2本の荷上索を同時に強く引っ張り合うような操作は主索に大きな張力を発生させるため、吊り荷やフックを高く上げすぎないように注意する必要がある。

(2)H型架線の現場概要

H型架線の集材現場として株式会社とされいほくが実施している高知県長岡郡大豊町内の立川北ノ谷山の事業地を調査した(図 2-38)。この事業地は平成24年から搬出をはじめ、平成28年度に

終了予定である。当事業地の現場は徳島県との県境付近の四国中央山脈に位置し、中央構造線が通るため急峻で複雑な地形であること、もろい地質、そして多雨であるから高密度の路網開設を回避して、H型架線を中心とした作業システムを採用している。この事業地は県行造林地 313 ha を対象にした提案公募型に周辺にある 10 名の所有者の民有林と仁尾ヶ内国有林を含めて 359 ha の団地である。

H型架線は、1号線(スパン長 1200m、以下同)、2号線(1550m)、3号線(1860m)、4号線(1010m)、5号線(1020m) 6号線(1010m)、7号線(1180m)、途中0号線(780m)を挟み、8号線(1130m)、9号線(1490m)、10号線(1800m)、11号線(1030m)が架設され、最後に12号線(1000m)が予定されている。図2-30中の四角の赤印が集材機の設置場所である。H型架線1セットの架設にはおよそ60人日かかり、張り替えには20~30人日、最終の撤収には10人日を要するとのことである。これらの作業には6人(作業班3名1セットの2セット)で行う。なお、H型架線1セットの架設にH型架線を始めた平成13年には100人日を要したが、人員配置を見直すことなどにより60人日まで減らすことができたということである。

立川北ノ谷山・仁尾ヶ内国有林 民国連携森林整備計画図

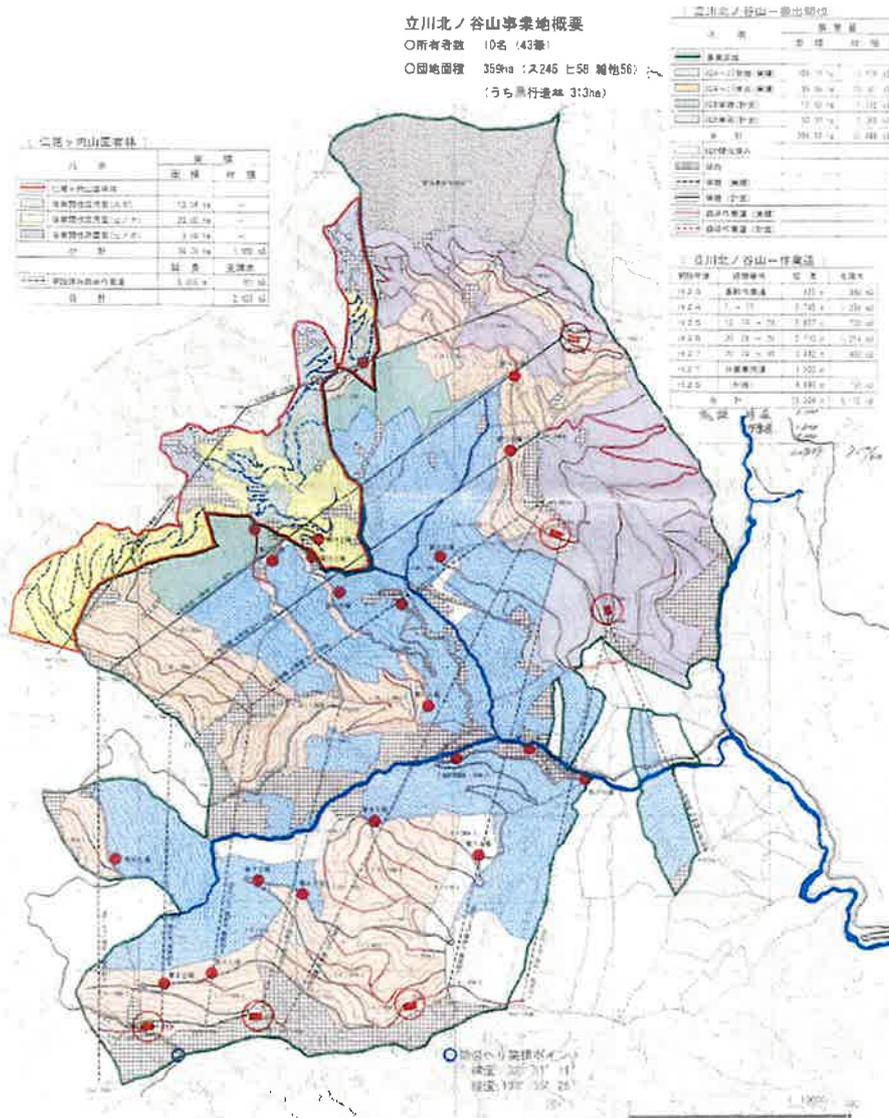


図 2-38 立川北ノ谷山の事業地

H型架線の集材作業では集材機のオペレータ1名、荷掛け手1名(図2-39)、荷外し兼プロセッサのオペレータ1名(図2-40)の3名1セットで行う。この現場では荷掛けをするため荷掛けフックを降下させる時荷上索が立木に接触することを避けるため、2つの荷上索を結合した結合点に自走式搬器を取付けて(図2-41)、自走式搬器に内蔵した巻上索を使用してこの自走式搬器の使用は吊荷荷重を犠牲にする短所を持つが、前述した荷上索による残存立木への損傷を防ぐほかに、強制降下による荷掛けフックの誘導が容易になるとともに荷掛け手がリモコン操作でフックの上げ下げが直接行える長所がある。H型架線ではこの3名の作業員は離れていることになるため作業開始から作業終了まで単独でいることになり昼食も別々に取るという。集材機のオペレータは作業のほとんどを視認することができないため集材機に座ったまま無線で指示を待つことになるため精神的負担が大きく、3人の作業員の中で最もつらい役目とのことである。それとは逆に、荷掛け手は荷掛けフックの引き込みがほとんどなく、また待避もし易く他の集材架線とは異なり最も負担の少ない作業とのことであった。



図 2-39 荷掛け地点の様子



図 2-40 荷下ろし土場



図 2-41 荷上索の結合点に自走式搬器を使用

(3) 作業分析結果の概要

今回調査したのは10号線(図2-42)、図2-43)と11号線のセットからなるH型架線(図2-44)である。この区域は谷が浅く線下の高さが十分に確保できなかったため、通常の定性間伐ではなく図中赤矢印で示すような横列状の間伐・集材を行っていた。H型架線の集材状況、吊荷の移動の軌跡を捉えるために2つの荷上索の結合点に取付けた自走式搬器の上部アームの部分に、また、荷掛け手の移動状況を知るために荷掛け手のヘルメットにGPSロガーを取付け記録した。記録は5月2日午後1時2分~午後4時20分の3時間18分であった。記録したGPS結果をGoogle Earthにプロットしたものを図2-45に示す。図中の赤線はラジキャリアすなわち吊荷の軌跡を、水色の線が荷掛け手の軌跡を示す。この結果によればこの日の午後の作業では22回の集材が行われたことが分かる。



図 2-42 10号線(赤丸:先柱)



図 2-43 10号線の先柱

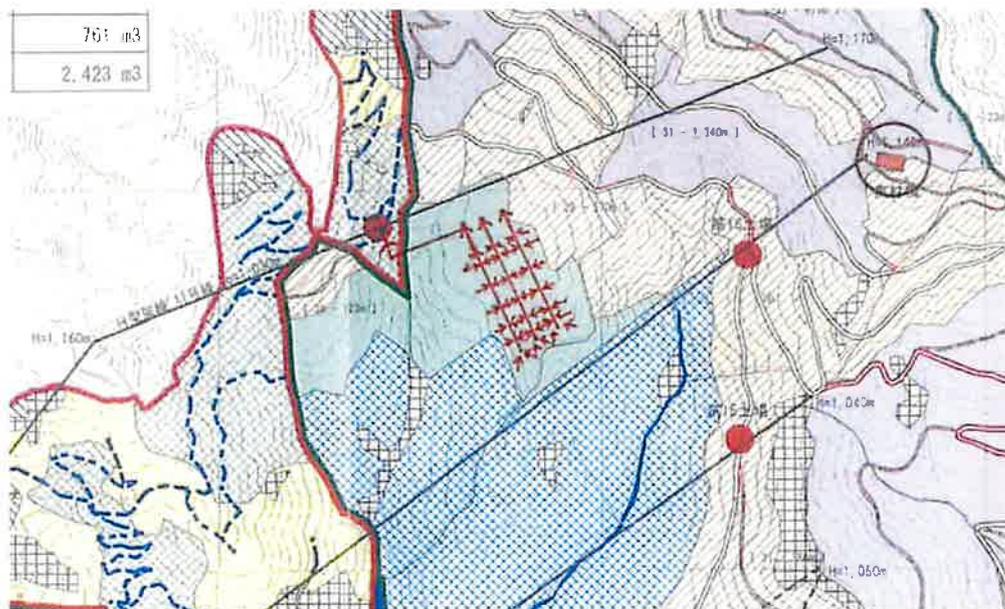


図 2-44 H型架線による横列状間伐の集材

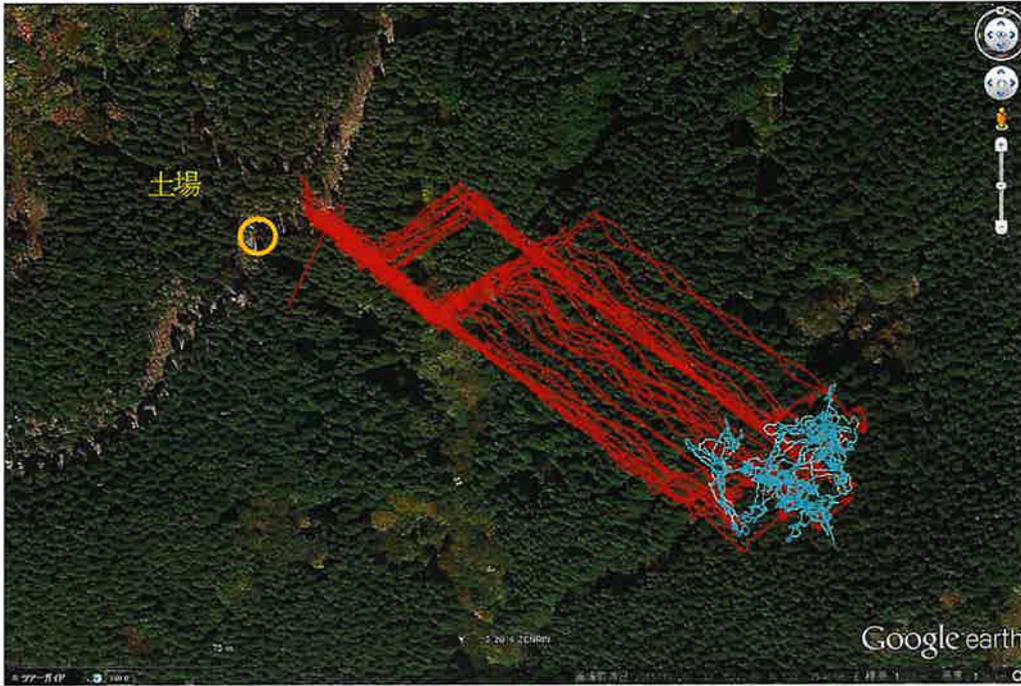


図 2-45 集材の軌跡（赤線）と荷掛け手の軌跡（青線）

図 2-42 荷重点（自走式搬器）の高さ変化

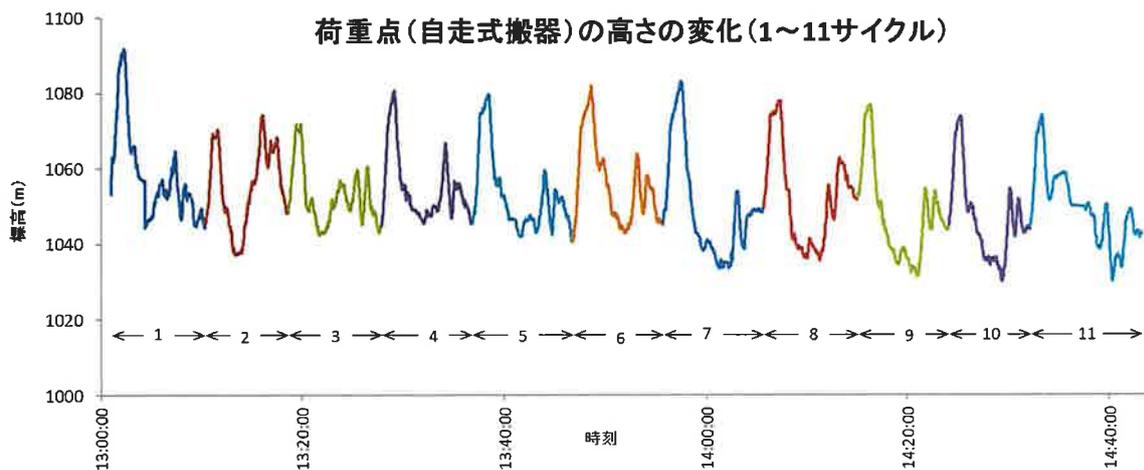
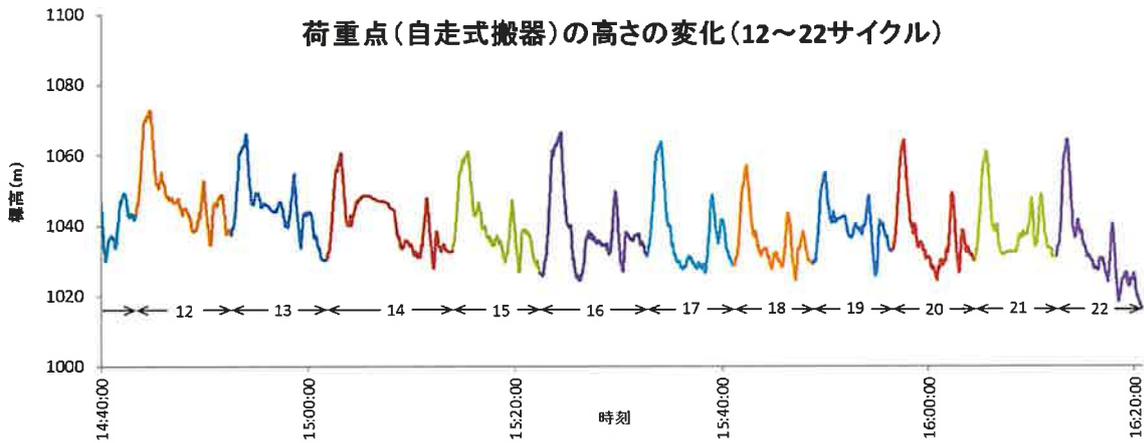


図 2-46 荷重点（自走式搬器）の高さ変化

図 2-46 は自走式搬器に取付けた GPS データの標高値の時間的変化から集材サイクルを判別推定し、集材サイクルごとに色分けした図である。GPS は水平方向のデータに比べ高さ方向のデータは一般に精度が劣るといわれるが、図を見ると集材に伴う荷重点の高さの変化の挙動をそれなりに示していると推察される。この変化の状況から集材サイクルを判別した結果 22 回の集材が行われた推察され、その平均集材サイクルタイムは 9 分 3 秒 ± 1 分 6 秒で、最大集材サイクルタイムが 12 分 8 秒、最小集材サイクルタイムが 7 分 38 秒と推定された。

集材木（自走式搬器）の軌跡と荷掛け手の軌跡を例として集材サイクル 16 と 17 における関係を示したのが図 2-47 である。空のフックは集材機のオペレータの操作により土場から図中の破線の軌跡に従って荷掛け地点まで移動し、荷掛け地点で荷掛け手のリモコン操作により自走式搬器の巻上索を繰り出してフックを降下させる。集材木をフックに掛けたのち荷掛け手のリモコン操作により巻上索の巻き上げで集材木を樹冠上まで引き上げ、集材機のオペレータによる実走行（図中実線）で土場まで集材木を搬出する。この実走行の間に荷掛け手は次の荷掛け地点まで移動（図中の荷掛け 16）していることが見て取れる。荷掛け手の GPS データは林内にいることから受信状態が良くなく断片的なデータであるが、荷掛け手の移動の範囲はそれほど大きくなく荷掛地点の移動と最小限の待避で済んでいると推察される。

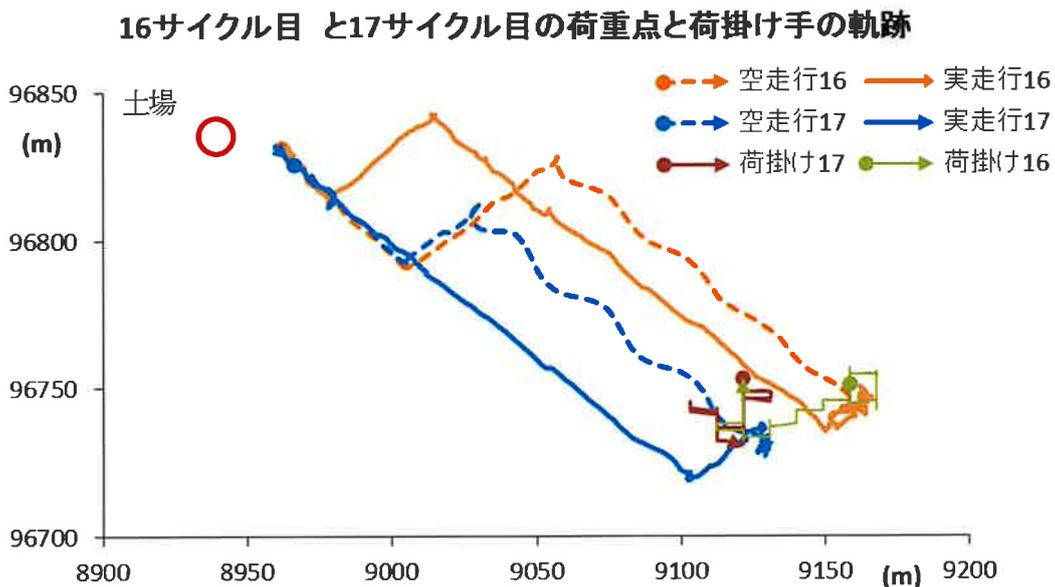


図 2-47 荷重点（自走式搬器）の空走行と実走行の軌跡と荷掛け手の軌跡の例

(4) H 型架線と路網との関係

H 型架線は見かけ上 2 本の架線で挟まれた面積が集材可能と考えられるが、実際には支柱付近の集材は垂下量が十分でなく実質架線による集材はできない。とされいほくの聞き取りによれば経験上支柱から 2 割は集材が難しいとのことであった。したがって H 型架線で集材できるのは 6 割ということであった。それゆえ、H 型架線で集材できない支柱付近の 2 割すなわち尾根に近い付近は車両系で集材（図 2-48）しているとのことである。図 2-38 のオレンジ色部分が車両系による集材を



図 2-48 車両系による集材

行う区域に該当する。集材機は元柱の付近に設置する。元柱付近に設置することによりガイドブロックの数が少なくなることで、索の延長が少なるため架設が容易で人工数も少なくできるとのことである。また、元柱近くに集材機を設置するため元柱を設置するところには林道（作業道）を開設するとのことである。

土場は1セットのH型架線に1か所設置するのではなく、集材のサイクルタイムが7～8分に収まるように数か所の土場を設置するようにしている。これにより1回に3本約1m³を集材するとすれば、荷下ろし土場での待ち時間が無くなるとともに1日およそ50m³の生産ができる。したがって土場の配置が言い換えれば路網の配置が重要となる。ただし、土場の設置が困難なところではサイクルタイムを10分かかることもある。

土場には10tトラックが入れるように路網を整備している。ちなみに路網の開設費は10tトラックが入れるトラック道は3000円/m、岩があってブレーカを使う場合は4000円/m、フォワーダ道では1500円/mとのことである。

(5) H型架線の高性能化

現地調査をしたとささいいほくでは、前項の平成24年度林野庁補助事業先進的林業機械緊急実証・普及事業の採択を受けてH型架線の高性能化を実施している。そのうち今回視察できたのは、集材機の高度化と作業システムの高度化である。

集材機の高度化は、H型架線に必須の3軸4胴集材機（図2-49）のドラム操作を従来の機械式から油圧式に改良したことである。油圧式にしたことでクラッチ操作及びブレーキ操作をシンプルなレバー操作（図2-50）で行うことができるようになり、肉体的負担が大幅に軽減される。しかし、ブレーキ操作に関しては操作感覚が再現できていないため微妙な索の繰り出しができないという課題が残されているとのことであった。

作業システムの高度化に関しては搬器位置表示装置の開発があり、ロータリーエンコーダ付きガイドブロック（図2-51）によりエンドレス索の索移動量を計測し搬器位置を表示（図2-52）する装置である。これについてはまだ十分に信頼性が担保されていないためか、従来の索に目印をつける方法が併用されていた。また、自走式搬器の代わりに無線操作による空中吊上機も開発されたとのことであるが、残念ながら今回は視察することができなかった。

その他として、H型架線では長スパンの架線を架設するためリード線（図2-53）の架設に早くから模型飛行機（図2-54）を使用していた。今日、ドローンの利用が広く脚光を浴びているが架線の架設に模型飛行機のみならずドローンの技術が応用され、架線の架設撤去の省力化に応用できないものかと考えさせられた。



図 2-49 3軸4胴集材機



図 2-50 油圧クラッチ・ブレーキレバー



図 2-51 エンコーダ付き滑車



図 2-52 索の移動量の表示



図 2-53 リードロープ引き出し模型飛行機



図 2-54 リードロープ (1巻1000m)

(6) H型架線の将来

以上、現地調査に基づいた H 型架線の現状について述べてきたが、現状のままでは広く普及を期待するのは難しいと考えられる。その理由の一つとして地形条件があげられる。一般には H 型架線は地形に選択性が強く、適用できる地形条件が厳しいと考えられているが、必ずしもそうではない。単純に地形条件だけで H 型架線の適用できる箇所を抽出してみるとかなりの範囲が可能と判定できる (近藤ら、1998)。現実には、H 型架線が架設できそうな箇所に一般道、鉄道、送電線などのインフラ設備があるため、もし架線を架設しようとするならば行政的手続きや防護柵の設置などの多大な労力とコストを必要とする。この点については、架線なら搬出が可能な森林資源が手を付けられないために無駄になっていると聞き取りをしたとされいほくの半田氏も指摘している。また、H 型架線は規模が大きくなるため導入しようと考えても経験がないため適用箇所の見極めに躊躇していると考えられる。

もう一つの理由として、H 型架線の架設が難しそうと経験がないと簡単には取り付けそうにない点である。実際、いくつかの事業体で H 型架線に関心を寄せ導入を考えているもののその事業体が実際に H 型架線による集材を実施した例を聞かない。近年の架線技術の継承の滞りのため、架線技術を持たない事業体も多く H 型架線の普及を妨げていると考えられる。

このような状況を鑑み、もし H 型架線の幅広い普及を推進するならば以下に指摘するような新しい技術革新を必要とする。まず 1 点目として GIS を応用して H 型架線が適用できる箇所とその支柱を設置する候補の場所を抽出するプログラムの開発があげられる。2 点目として索張りをより簡潔にできる機構を開発することである。例えば 3 軸 4 胴集材機を必要とせずより小型で軽量の電動ウインチ

を架線ごとに配置すればそれらウインチを遠隔操作によりコントロールすることが可能となる。GPSなどを組み込めば自動運転も可能となると考えられる。

集材架線は車両系と比べ架線の架設撤去という付帯作業を必要としハンディキャップを有する。それゆえ複雑な機構をもつ H 型架線ではこの架設撤去をどれだけ短縮できるかが最終の生産性に大きく影響する。したがって、より架設撤去が簡単な機構を持つ H 型架線の開発が望まれる。

参考文献

- 1) フォレスト・サーベイ：平成 28 年度林業機械化推進シンポジウム配布資料，33pp，2017
- 2) 古川邦明，臼田寿生，和多田友宏，近藤稔，松本武：大型自走式搬器による全木集材の生産性，第 126 回日本森林学会大会講演要旨，2015
- 3) 近藤 稔：架線集材の索張り．機械化林業 633(8)，2-9，2006
- 4) 近藤 稔，山内澄子，松本 武，鈴木保志，小林洋司：H 型架線で集材可能な区域の抽出方法の検討．森林利用学会誌 20(3)，193-202，2005
- 5) 自然産業研究所：先進的林業機械緊急実証・普及事業 取組み概要資料集，28pp，2014
- 6) とさいはいく：森林・林業の再生を目指して「間伐主体の企業経営」．平成 27 年度研修会資料，32pp，2015

第 3 項 今後の課題

以上、近年の新たに開発導入された架線系機械・装置と急傾斜地にける架線集材を主体にした作業システムとして H 型架線による作業システムの調査を報告した。これらの結果を踏まえ、架線系機械・装置の今後の課題について述べる。

- 1) 油圧式集材機、主索ウインチ付スイングヤード、アタッチメント式タワーヤードに関して、これらの架線機械に搭載のドラムはどれも油圧制御で動作するが、その油圧制御が十分とは言えずドラム間のインターロックが不完全であるなどその制御はまだ改良の余地があるように思う。また、3 胴、4 胴など多胴のドラムを有するものは多様な索張りに対応可能であるにもかかわらず特定の索張りのみを想定している。地形条件に応じて索張りが選択できるようになれば架線作業の高能率化・作業負担の軽減化に寄与できる。このことから、多様な索張りに適応できる制御プログラムあるいはソフトウェアの充実を図ることが必要であり、多胴である利点を生かすような工夫が望まれる。
- 2) 架線系機械は架線の架設・撤去という付帯作業を伴うのが必然であるため高能率化にはこの付帯作業を簡便化する必要がある。特に、タワーヤードでは控え索を設置しなければならないが、急傾斜地ほどその控え索を設置が困難となり、タワーヤードが設置できる場所が制限されてしまう。この控え索に代替できる装置、例えば、アウトリガーやカニ足のような装置の開発が望まれる。
- 3) 架線作業は数百メートルと離れて作業を行うことが多いことから、GPS などのセンサー技術を取り入れて搬器の走行制御の精密化や位置情報の共有化、カメラで撮影した作業状況の把握などより IT 技術をどん欲に取り入れて機械の高度化を目指すことが望まれる。
- 4) 架線作業で使用する索の張力管理は安全作業の面からも重要であるが、従来の索張力の計算方法は固定した索についての方法で、今日普及しているスイングヤードやタワーヤードの索張りに対応できているとは言い難い。タワーヤードやスイングヤードによる架線作業を安全に行うために索の張力を保証する方法を検討する必要がある。
また、索にかかる張力をモニターする装置や過大な索張力が発生した場合に警告を発する装置の開発が望まれる。
- 5) 近年、索に鋼鉄製のワイヤーロープの代わりに繊維ロープを使用する例がみられるようになった。同径のワイヤーロープにほぼ同じ強度にもかかわらず軽量（重さが約 6 分の 1）で、扱いやすくな

おかつ汚れないことから普及しつつある。しかし、摩耗に弱く耐久性に問題があることが分かっているがその交換時期などの目安がなく、繊維ロープの使用に関するガイドラインの早急な作成が望まれる。

- 6) 架線作業は架線の架設・撤去に豊富な知識と経験を必要とするため、架線技術者の確保は重要な課題である。長らく車両系作業一辺倒であったため架線が張れる技術者が不在のところもあるという。架線技術の高能率化には架線技術者の育成と架線技術の伝承は必要不可欠であり、その技術があつて初めて高能率化が可能といえる。

最後に、架線機械に限ったことではないが、林業機械のマーケットは大きいとはいえず、せっかく開発した機械も量産効果が望めず高額になる。林業機械の価格が高額であるため普及が進まず、せっかく開発した機械が開発の1台だけで終わることがままある。せっかく開発した機械を1台で終わらせないためには機械の価格を下げる必要がある。そのためにはマーケットの小さい林業の分野だけを視野に入れるのではなく、土木などの他の分野も視野に入れて機械を開発することが必要ではないだろうか。さらに、林業の分野で開発したノウハウを他の分野で応用できるようにする努力も必要ではないだろうか。林業機械を他の分野で売って儲けて、林業に還元することができれば理想である。

第4節 急傾斜林地での次世代タワーヤーダシステム

第1項 スマートフォレストリーの展開において

山林作業現地での高機能な作業機械の導入が進んでいる。とくに無線機構を適用して作業システムの単純化、省力化がよく見られる。しかし、複数の作業機械や作業員を適切にシステム化して班作業をこなすためにはそれら各々の動作、作業を連携して進ませる必要がある。

さらに、地域の森林資源の持続的な有効利用管理のためには、山林情報と素材生産、育林情報と製材所、木質バイオマス発電所などの需要サイドの情報が即時的に連携して、事業推進、ビジネス展開につながることを有用である。先山の山林情報や生産育林情報から需要情報までを連携して情報システムを構築し、それを可能にする一連のシステム化された体系をスマートフォレストリーと呼ぶ。

先山素材生産事業の情報収集とデータベース化、素材ビジネスとの連携による儲かる林業の新たな枠組みについて述べる。

森林資源利用を軸とした地域産業の可能性

今日の日本林業には様々な課題がある。急峻な国土で作業はしにくく、道路もつけにくく能率高く作業をして利用することは容易ではない。しかし、資源は充実し毎年1億 m³ほどもの成長が積み重ねられており、エネルギー資源として地域での活用も期待されている。

森林は地域環境そのものであり、資源として、事業の歴史を持ち、地域産業として役割を有する。個別技術にはすでに使えるものが登場しており、それらをどのように活用するかが課題である。それらを連結することでシステム総合的な新たな機能を発現させ、林業の新たな展開が創出される。



図 2-55 森林資源利用を軸とした地域産業構造モデル

地域の森林は、地元の生活につながって価値が高まる

地域の生活に地元の森林資源が直接利用させるようになると、地域雇用を含んだ好循環が創出される(図 2-55)。化石燃料が主となる以前の、薪、炭を地域の山林で生産調達して家庭の熱にしていたように、地元の資源が当地での生活に利用されればそこで仕事ができ、雇用が作られる。もちろん電気も必要ですから集落のスケールに応じた発電施設が設けられる。小型の発電施設(図 2-56 など)では、出力 100kw では 200 世帯ほどへの電力を賄うことができ、地域の集落ごとに施設を稼働することができれば自立した電力事業を営むことができる。その施設が木質バイオマス発電機構であれば、燃料用の低質材を年間に 1200 t、日に 3 t ほど供給できるようにしておけば十分であり、それに比べられる木材生産が地元で行われれば電気の自給ができる。これに必要な木材生産は木質バイオマス量で 6m³、間伐で 0.1ha 相当である。ひとつの集落地域面積は、山地エリアでは千 ha 以上がほとんどで、その森林面積は 8 割程度と想定しても適切に森林施業が行われれば容易に得られる量である。もちろん可能な大規模化で売電も可能だ。もっとも山林での施業が森林資源を持続的に利用できる枠をはみ出さないことが必要である。



小型木質バイオマスガス化発電給熱装置

図 2-56 小型木質バイオマス発電施設 (100kw 出力)

施業コストの高止まりの状況が続く中、森林施業が計画的におこなわれることが求められている。具体的な施業計画を立案するためには地域の森林の状況が、まず、見えるようになることが有効である。同時に作業技術としての個別技術が使用する機械や機構の高度化によって高能率化すること、さらにそれぞれの工程情報を共有して施業経営を適正化することが有用である。この情報を共有して森林施業全体を統合的に適正化することがメリットを生み出す。



図 2-57 スマートフォレストリーの構成

これらの、山林育成・利用計画や事業運営や森林所有者の地域の社会的な機能を連携する社会、森林作業と生産材を管理する山林の情報機構化、生産されたものを製材工場や木質バイオマスプラントなど需要者と情報連携するビジネス、これらの3つのセクションが適切に情報網で連結されシステム化された、いわば情報システム化林業をスマートフォレストリーと総称する(図 2-57)。

林業では材の生産情報と製材工場などでの需要情報をマッチさせるのが容易ではない。従来の林業は、標準的な採材規格は定めておきつつも伐倒木の通直度を採材手が評価して適切な長さに木取りし、同様な規格ごとに運搬、市場集積販売や工場納品するというビジネスの流れが通常で、需要サイドの必要な素材の規格、量の情報が先山まで伝わってほしい規格の素材が適当量入手できるということが困難である。

そこで生産サイドと需要サイドの売買情報を把握して、それぞれに相手方の状況が見えるようにし、要求内容を生産側の現場にまた需要側の生産計画に反映させるようにできることが有用になる。需要サイドの必要条件を満たして素材を納品する場合には購入単価を高めに設定しても事業に有利になることも期待される。また、需要サイドの情報が川上の生産現場で咀嚼できれば、タイミングを合わせて求められる規格と量の素材を生産、配送するスケジューリングができるようになり、生産作業の効率が向上して事業メリットが得られる。

森林資源管理利用システム

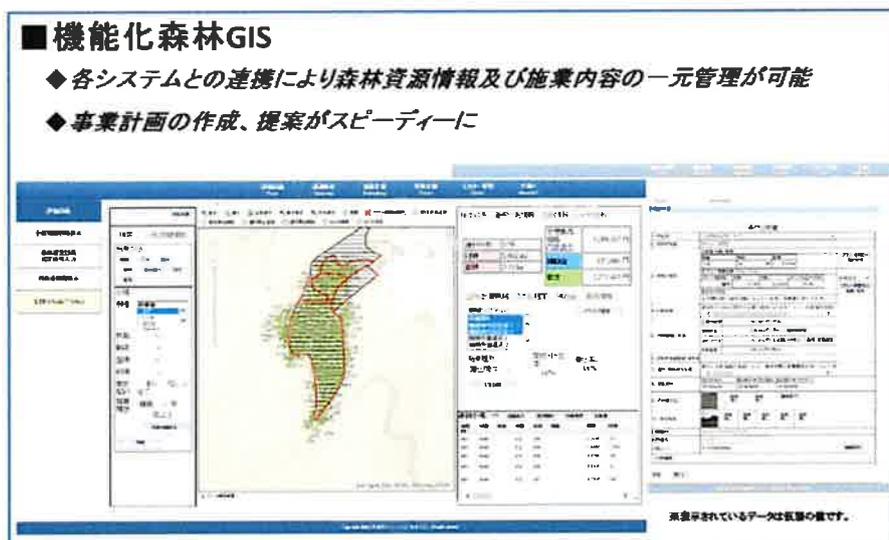


図 2-58 スマートフォレストリーの核：多機能森林情報システム

スマートフォレストリーの核となるのは、多機能な森林情報システムである（図 2-58）。具体的なシステムとしては、当方が開発し、機能拡張を進めている森林情報システム(1)であり、場所を選ばずどこでも使えるようにクラウドサービスで機能提供される。それによって PC でもタブレットでもシステム利用ができること、当該システムに生産事業での現場の素材処理状況情報および需要サイドの必要商品情報が連携しているということが必要となる。

これまで山づくりや素材生産をする川上工程、素材を収集運搬集積市場する川中工程、素材を加工消費する林産住宅産業の川下工程が、効果的に連携するということはほとんどなかった。このシステムによってそれぞれの工程のビジネスを適正化することが可能になり、それによって地域の素材生産事業量が拡大することが期待される。

情報の基盤となるのは、森林簿と森林基本図である。しかし、精度に課題があるので事業実施にあたっては林況調査によって立木情報を正確に把握することが適当で、レーザースキャナーによる高能率で高精度な調査手法が有効である（図 2-59）。さらに最近進歩の著しいドローン技術を利用したレーザー計測手法（図 2-60）の開発を手掛けている。

森林の情報を“作る”：森林資源管理システム woodinfo®
(デジタル フォレスト) ジッタ



© 2011-12 woodinfo ALL RIGHTS RESERVED

図 2-59 レーザー装置 3D スキャンによる林況調査手法



図 2-60 ドローンによる林況調査と作業支援のイメージ

GIS ベースの情報システムによって森林施業のシミュレーションができるので、施業手法によってどうしたらメリットが得られるのかを事前に検討できる。特に、技術的には作業システムを現地に適用する場合の棲み分けについての評価が有用である。代表的な棲み分けの場合例として架線系機械システムと車両系機械システムがある。(図 2-61)。傾斜面の車両が直登できないところには迂回させて作業道を開設してフォワーダなどを適用することになるが、迂回によって走行距離延長が長くなり効率が低下する。

想定する車両の大きさなどによって評価成果は異なるが、当該システムによって施業対象候補地を検索することができる。

架線系と車両系の棲み分け

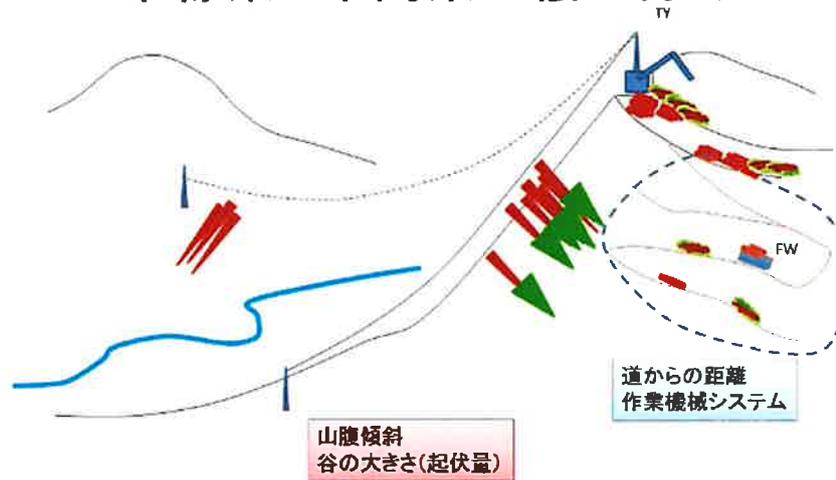


図 2-61 機械作業システムによる棲み分け

(1)平成 17 年度に秩父地方の山林木質バイオマス資源の収集とエネルギー利用についてシミュレーション解析を行うために構築したシステムを基に、ユーザーインターフェースを構築し、事業取りまとめや作業機械システムの違いなどによって、素材、木質バイオマスの収集生産施業を事業取りまとめする機能を構築したものである。

山林育成・利用計画や事業運営や森林所有者の地域の社会的な機能を連携する社会

自身の所有する森林についての認識がない方が少なくないと言われる。また相続をしてその山林の話を見えるようにし関心を持たせるかが課題である。幸いに、森林の所有境界の示された森林基本図と区分された森林の林分情報データである森林簿は各地方自治体で得ることができる。これらと国土地理情報である道路情報、地表標高情報を組み合わせると、GIS 地理情報システムを用いて森林の見える化ができる。地域の森林を身近なものとして見られるようにする有用な道具であると言えよう。

さて、森林所有者は先の森林情報システムを用いて所有山林をどのように扱ったらいいのかを考えてもらうことが可能となる。森林組合など地域の林業事業体からの事業提案などの働きかけが具体的な施業の動きを作るには欠かせないが、森林をお持ちの方に手入れ、活用する意識を持たせることが必要である。もっとも、手入れのためにご負担が発生するが、という働きかけでは動きにつながりようもなく、このようにまとめてこのように施業をデザインすればこのような利益が出る、という働きかけが、所有者を、森林を動かすと言えよう。

今日多くの森林所有者は、森林は利益を生まない資産であって、運用手入れに関心のある方は多くはないのが実情である。さらに、森林組合などの地域林業事業体も森林の手入れは補助金があって初めて事業ができるものと認識しているのが一般的である。これらは山林の実情と技術の可能性を正確に理解していないためであると解釈できる。

所有者と事業体と地方行政が適切に連携して地域森林利用活性化への協調ができれば、地域森林は前向きに動き出すと言えよう。これらのシステムと利用の仕方は、地域の素材生産林業のみならず、地域の森林の環境管理、環境利用のビジネスや、CO₂固定能をビジネスとすることに展開する。さらに、地域の森林とそこでの林業を見える化することによって林業に直接かかわらない地域住民の方々をこの動

きに関心を誘導し、地域としての地元山林資源への関心を高めることが活動促進へ有効であると考えられる。

森林作業と生産材を管理する山林の情報機構化

山林作業の状況を情報化して、系統的に把握することが基本である。事業で稼働する機械には作業情報を収集する機構を持たせ、どこで何をしたか、成果として何がどれだけ作られた、処理されたかを通信によってデータベース化する。

スイングヤーダ、プロセッサ、フォワーダなどの車両系機械群による作業はもちろん、タワーヤーダなどの架線系機械作業システムなどの機械作業システムによって生産された素材は、機械の稼働情報から材種、数量、所在場所、処理時刻がデータベース化され（図 2-62）、予め把握しておいた需要サイドの買い付け条件とマッチするように検索され、販売物件が構成されることになる。マッチングが難しい場合には、生産事業計画を調整してマッチする条件、タイミングをデザインする。

したがって、素材生産の現場だけの管理、事業計画だけで需要サイドと適切に連携できることは難しく、地域の森林の経営、利用事業計画とおおいに関わってくる。ここに SCM：サプライチェーンマネジメント、による調整、適正化処理が機能する。また、山林の維持管理、育成計画や間伐、主伐などの施業計画、管理のための工程群を適正化する ECM：エンジニアリングマネジメント、が機能することとなる。

ICT造材/稼働管理

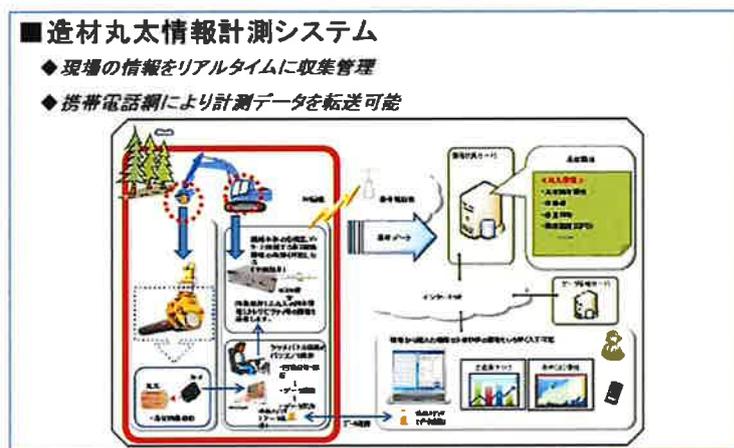


図 2-62 造材情報を収集しデータベースへ連結するプロセッサユニット

個別の機械技術としては、人力作業支援機械・育林機械、新たな素材生産作業機械があげられる。

人力による作業は、たとえ作業用の機械が、架線系や車両系であれ、進歩したとしても、移動作業やちょっとした運搬や作業支援などを排除することはできない。林内の歩行移動を支援する機能を提供し、さらに歩行移動を伴う作業を処理する機能を提供することが有用である（図 2-63）。機械には作業情報を収集し、データベースに連結させることによって機械の稼働状況や作業進行程度を管理、利用する。車両の林内移動時には周辺林況の 3D レーザースキャン調査を必ず行わせて、データの更新を常時行うことができる。

林内人力支援小型車両



図 2-63 林内人力作業を支援する小型車両
(情報非開示のため写真にはマスクしている)

林内での具体的な作業の改善には、急傾斜林地での歩行移動を代替、支援する小型車両を用いることが有効である。現在、車両走行実証実験を進めているが、膨軟な表土の多い我が国で、道路を離れた林地内の走行は、表土が支持できる低接地圧で、走行方向を変える時も地表の攪乱を抑える必要があるとともに、走行姿勢と接地圧の接地点でのバランスが求められる。

主として、道路を外れた林内を作業地点まで移動する歩行作業を支援することが機能であるが、レーザーキャナーを装備することで、走行移動時には常時林況調査を行うことができる。また、軽量の作業ユニットを持たせて下刈りを担わせることも可能である。このように林地内を走行移動できる搭乗型の機構、機能の小型車によって、林内での人力作業を支援、代替することが可能となる。

さらに作業情報を記録、発信することで、施業成果を山林事業管理、計画と連携させ、事業の効率化計画の適正化を促進する。

素材生産用の架線系機械としてタワーヤーダの導入が進んでいる(図 2-64)。機械の情報化によって生産素材情報が把握できることは勿論であるが、機械の運用の観点から地域林業の規模感についてデザインすることができ、地域林業の施業箇所の検討条件となる。作業の能率は、3人作業で1日に素材を50m³生産する。



図 2-64 素材生産用の架線系機械としてタワーヤーダ

第2項 次世代タワーヤーダシステムにおける情報化作業

効率的な素材生産作業を目指して、タワーヤーダの素材生産作業への導入が進んでいる。架設撤収工程の掛り増しが少なく少人数の班編成で大型タワーヤーダによる作業を行っている林業事業体において、作業の記録を GPS によって1秒ごとに記録し、そのデータセットによって作業を解析した。作業データの採取は、日本土地山林株式会社のご便宜をいただき、兵庫県朝来市に所有する社有林でのタワーヤーダを用いた素材生産事業における作業をデータ化した。

作業データの特徴と解析手法

作業は複数人の作業員が異なる作業を分担して同時並行して進める。複数の GPS 機器によって得たデータを時刻で同期してマージする。これによって班作業の作業日ごとの基本データセットが得られる。このデータセットを用いて日ごとの作業の進行の様子を再現し、確認、検討する。

データ処理は MATLAB を使い、処理作業をプログラムファイル群にパッケージ化して処理の効率化を図った。

概括的には、作業架設準備および伐倒作業に1日、補助的な伐倒作業をとまなう集材造材作業に1~2日、集材造材作業の仕上げと撤収作業に1日、というサイクルで作業を進めたことが把握された。またいずれも班長任務者らが並行して段取り作業を行っている。

2014年10月末から11月の作業の進行の様子をGPSの記録で図2-65から図2-68に示す。図中の屈曲した線が、当日の作業員の移動軌跡を示す。作業員ごとに色分けしてある。また、黒のほぼ直線の往復線が重なっているのが搬器の移動軌跡である。

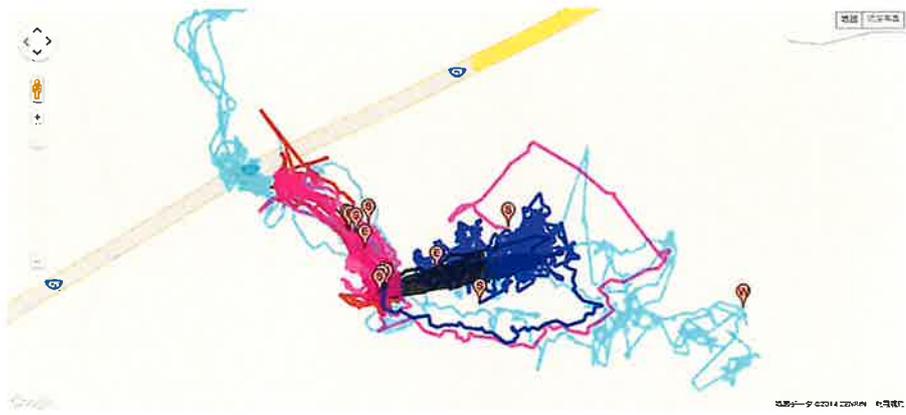


図 2-65 10月31日の作業員、搬器の移動軌跡



図 2-66 11月1日の作業員、搬器の移動軌跡



図 2-67 11月4日の作業員、搬器の移動軌跡



図 2-68 11月5日の作業員、搬器の移動軌跡

11月13日の搬器軌跡は赤で示す。また、図 2-69、図 2-70 は、処理工程の都合によって東西—南北が鏡映反転しているのをご容赦いただきたい。図 2-69 の作業員軌跡各色は、緑—Adc 氏、黄—Kkc 氏、紫—Nsm 氏である。軸の数値は緯度、経度を示し、目盛間隔の 0.001 度は、約 112m である。

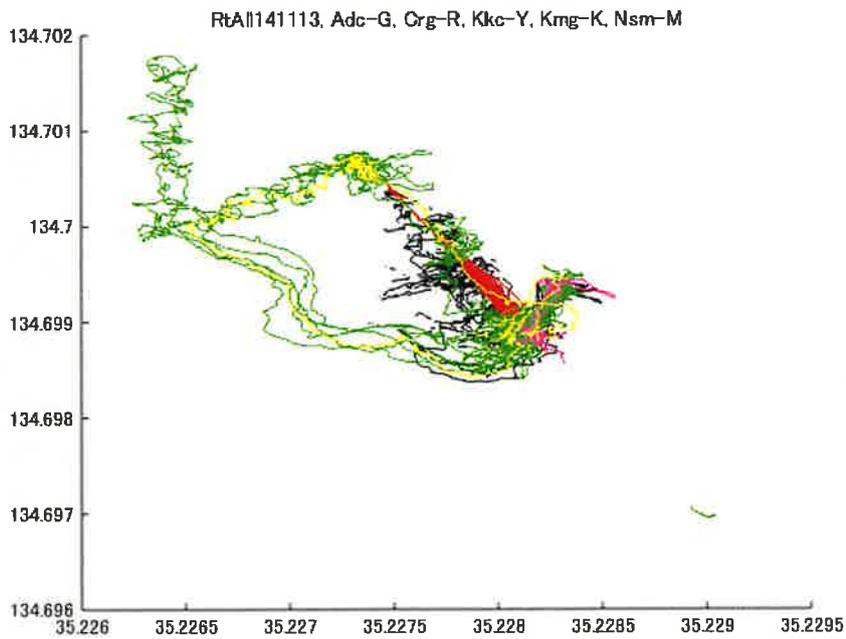


図 2-69 11月13日の作業員、搬器の移動軌跡

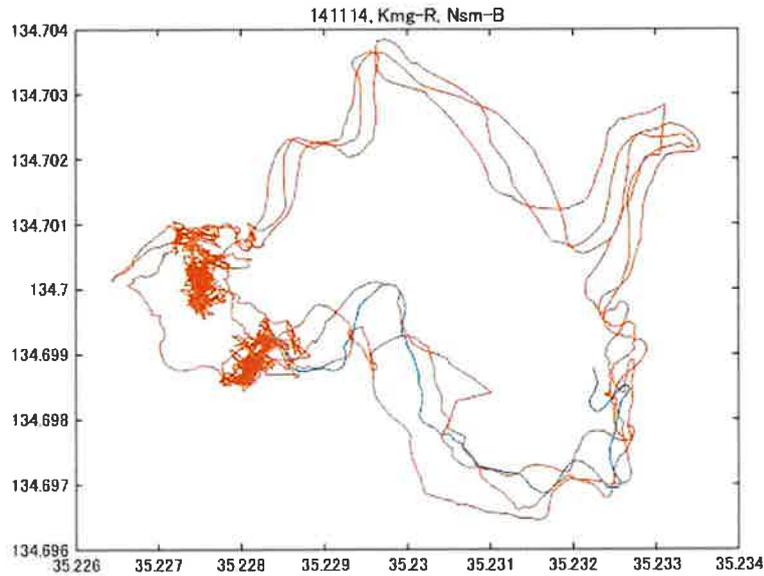


図 2-70 11月14日の作業員の移動軌跡

13日に注目して、1日の作業を時間の経過に沿って追いかけてみると、図 2-71 のようになる。これは、タワーヤード設置位置付近の道路上に位置原点を設けて、その点と各作業員および搬器の位置の距離を各時刻で算出したものである。

午前中は、前日から継続して作業準備や次の架線作業地の設定準備をしており、作業員 Adc は架設候補地の設定に移動しながら準備を進めていることが分かる。

午後は、架線の搬器稼働し、道路近くの集材木収集作業から徐々に遠くの集材作業へと進んだ。

続く 14 日の作業記録を見ると、図 2-70 のように集材作業はなく、13 日午後の作業時間一杯を使って、集材作業を完了したことが分かる。完了後に架線撤収。

14 日の作業は、搬器の走行がなく、前日の 13 日に仕上げた伐採エリア東に隣接するエリアで架線の架設作業を行った。

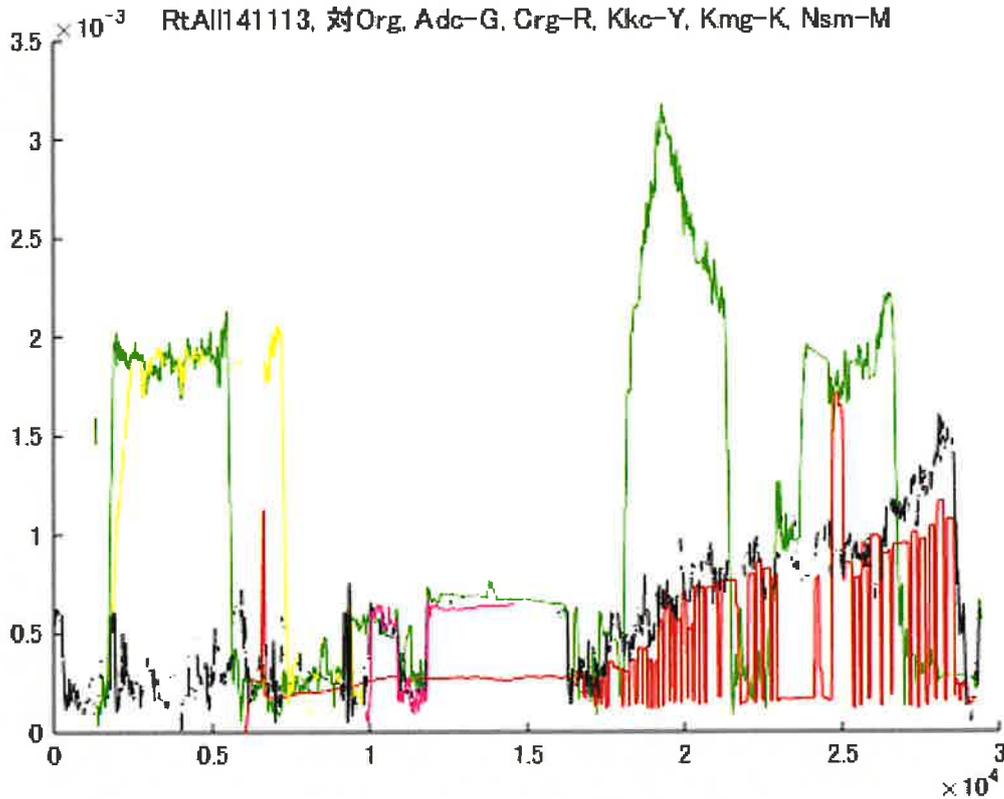


図 2-71 11月13日の作業員と搬器の移動近接—離反の様子

図 2-69 および図 2-71 から、作業員 Adc と Kkc は、主として次回架設する架線の設置位置の選定、準備に歩き回っており、作業員 Kmg と Nsm は、集材作業を行っていたことが分かる。

とくに、Kmg は搬器への荷掛位置がタワーヤードから遠方へ移動するに伴って、同様に遠方へ移動しており、荷掛作業を主として担っていたことが分かる。

また、搬器は1回先柱付近まで走行しており、機構動作のチェックもしくは物資の搬入搬出作業があったと解釈される。

当日午後の集材作業は、30mほどの集材距離から始まり、100mほどまで徐々に土場から遠のきつつ作業が進められた。午後3時ころの小休止までの1.8時間に搬器25往復の集材作業が行われた。すなわち、4.3分に1回のハイペースで集材が進んだ。小休止後は集材距離が長くなり、さらに荷掛工程での人力による荷上索の引き出し作業距離が長くなったためにサイクルタイムは増加している。1.4時間に12回の集材処理が行われ、サイクルタイムは平均7分であった。

午後の小休止前における人力荷掛距離は5から10mであったが、小休止以後は10から20mと長くなった。架線から離れた位置に伐倒残置された材の処理がどうしても残り、作業日終了時刻近くになると作業の手間がかかる場合が多くなると解釈された。

作業終了時刻に近い時間帯での作業強度が強くなることが示されたが、作業の安全衛生管理の観点からは好ましくない状況である。林内での人力作業を支援する車両機械の導入による作業強度軽減が期待される場所である。

架設作業を準備した14日は、図 2-72 に示すように、作業員は1日にタワーヤード地点と先柱地点を3往復したことが分かる。

間伐木の選定、伐採処理を並行して行っているため、作業量が掛り増しになっているが、架線の架設

準備作業、架設作業の効率化が総合的な作業能率向上のカギである。

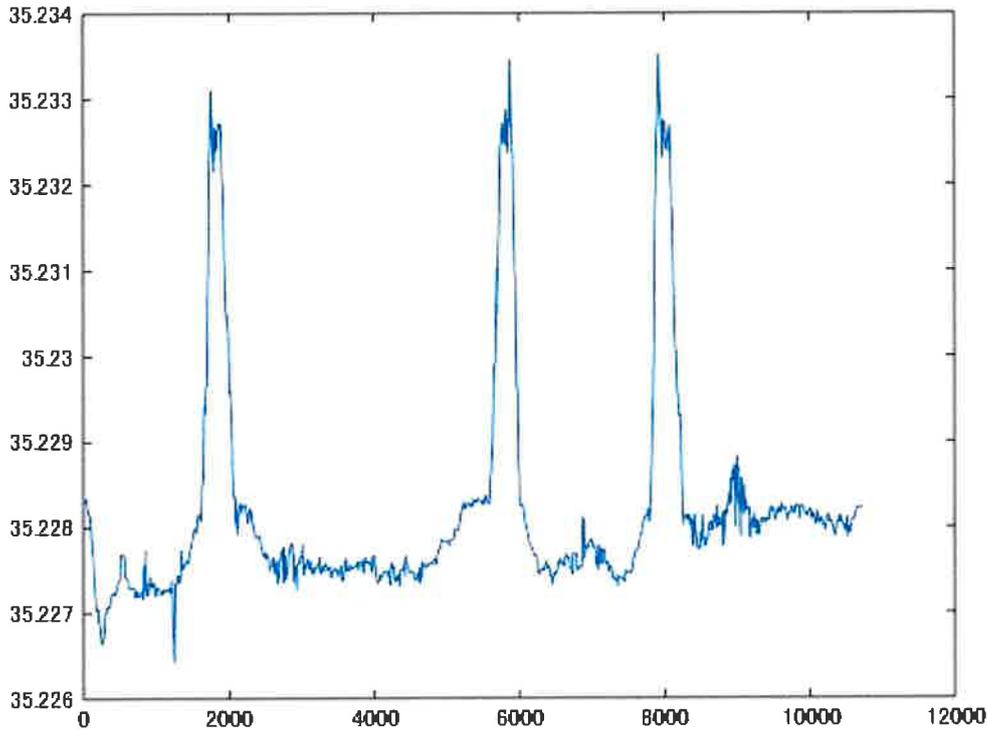


図 2-72 11月14日の架設作業における作業員の移動近接—離反

作業量を概括的にまとめると、タワーヤード集材架線1線当たり、伐倒、架設に9人日、集材造材に3人日程度の作業量が発生した。架設作業分を半分強の5人日とすると、スパン150mほどの間伐作業で、8人日の作業であったこととなる。立木蓄積300m³/ha、事業地面積1ha、間伐率30%、造材歩留0.6として、生産素材材積60m³を、7.5m³/人日の作業能率で処理したこととなる。

生産素材の土場計測データを処理、追加して、作業能率把握精度を向上させる処理を継続して行っている。

GPSによる作業記録システム

今回の調査において開発した作業記録をGPSで採取するシステムの概要を以下に示す。

システムは、複数のGPS記録機器とデータ転送システムおよび解析システムからなる。現場作業時に、作業員、搬器など稼働するものにGPS記録機器を背負わせて位置情報を作業中継続採取し、遠方の現場からインターネットで管理/研究部署へ転送する。これを解析システムで解析検討する。



図 2-73 システム構成—複数のGPS記録機器

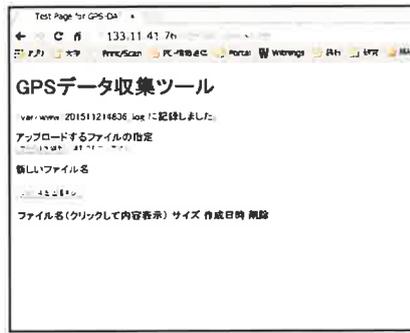


図 2-74 データ転送システム



図 2-75 解析システム-Matlab で構築

GPS を用いて作業位置情報を把握するシステムを開発し利用した。

複数の作業者、作業機械が行った班作業の履歴を GPS によって記録して、班で行った作業の進行、班作業の連携の良し悪しの評価が可能である。

以下に、データを収集し、解析評価するためのツールをコンピュータプログラムで開発してパッケージし、ツールとして取りまとめたものについて紹介し、説明する。

パッケージは、データ収集管理ツール群と、データ解析検討ツール群とからなる。著作権は仁多見俊夫にあり、その利用はクラウドサービスとして提供され、共同研究契約によって利用可能である。

①作業データ収集管理システム：FOLG

GPS による作業位置時刻データの収集記録とデータ共有化、および可視化確認の容易化を可能とする。

FOLG: Forest Operation Data Logging System by GPS

Toshio NITAMI@Univ. of Tokyo

- Aim
 - To obtain operation data in forest to see the process procedure based on GPS location and time among the workers/machines.
 - To make it easy to grasp the operation procedure graphically.

2017/07/17

Toshio NITAMI@Univ. of Tokyo

1

班作業を構成する複数の作業員、作業機械に始業時に GPS を装着し、終業時に回収して、それらのデータを共有ホルダーに転送保管する。

Data obtain and share

- GPS
 - Charge GPS devices (n)
 - Turn on GPS devices and put them on workers/machines (n)
 - Collect GPS devices (n)
- Data transfer and share
 - Connect GPS device to a PC internet connected (n)
 - Transfer data onto the Google share holder (n)

2017/07/17

Toshio NITAMI@Univ. of Tokyo

1

②作業データ解析検討システム : FOAG

作業記録データの解析を支援するツール群である。

FOAG: Forest Operation Data Analyze System based on GPS

Toshio NITAMI@univ. of Tokyo

- Aim
 - To make it easy to analyze the operation data by tools programmed and integrated in the packaged system.

2017/5/7

Toshio NITAMI@univ. of Tokyo (JPN)

2

まず、GPS データを変換し、さらに解析するためのデータ調整をする。

Data formulate and synchronize

- Read data (n)
- Time data conversion (n)
- Find size(n), t0(n), te(n)

2017/5/7

Toshio NITAMI@univ. of Tokyo (JPN)

2

次に、行動軌跡グラフを描きデータを確認しつつ、異常データを除き、計測誤差による測点位置のふらつきを適当に平滑化する。これは停止した状態での作業であるといったような作業情報が捨てられないように注意しながら、ふらつき程度を抑える。

Data polish and prepare

- Draw data on a map and check
- Exclude error data
- Discuss staggering and smoothing, go back and iterate
- Data renew

2017/5/7

Toshiaki TAMAI (t.tamai@fra.affrc.go.jp)

41

調整したデータは、班構成各員の動きの、同期程度を画像・描画によって確認しつつ、平滑化する。停滞位置を時間と位置範囲を指標として抽出する。移動距離を算出する。

まとまった事業での連続した作業日における処理作業の連携程度を検討する。前日の残処理を行ったのか、その影響があったのか、前日までの事前準備、調整が適切に行われたのか、などを解析結果から判読評価することができる。

これらの評価をもとに、作業班との業務改善会議を行い、現状での評価と更なる作業改善を目指すことが可能となる。

Data analyze and discuss

- Analyze
 - Single
 - stay – move
 - location, duration
 - Move distance
 - speed, variation
 - Days continuity
 - Team
 - Multi worker/machinery synchrony
 - Time, distance

2017/5/7

Toshiaki TAMAI (t.tamai@fra.affrc.go.jp)

42

++

海外の林業地において、違法伐採規制対応が重要な課題となっている。本システムは、事業の合法性を担保する証拠を示すものとして機能するものである。

海外、特に東南アジア諸国での林業事業での利用と成果が期待される。

GPS 情報は、時刻スタンプと位置情報が組みになったデータセットとして得られるので、改竄の危険がなく信頼できる情報として利用するに安全である。

また、高性能な林業機械を導入した作業班の敷衍によって地域林業を産業化する条件に付いて試算し、地域林業におけるスマートフォレストリーの可能性と具現化の課題について以下のように検討した（仁多見ほか、関東森林研究第 68 巻）。

I はじめに

日本国内の木材素材生産量の増加を目指して各種取り組みが進められている。本研究は ICT を活用して、地域林業を事業展開するための、木材 SCM システムを構築することを目標として事業を進めているプロジェクト（スマートフォレストリー構築事業(1)）において、とくに森林経営、素材生産、木材搬出の川上工程での事業情報システム化のために課題となる、森林経営計画と生産技術のバランスについて検討した。

II あらたな地域林業技術と構成 —スマートフォレストリー—

地域林業を展開する際に、生産コストを抑える技術が有用であることはもちろんだが、素材生産や運搬、集積などの工程が有機的に連携し、地域林業総体が適正化できることが求められる。ここで、「森林の育成や利用の計画（森林所有者、地域社会、行政機関との連携）」、「森林施業と生産された木材の管理（現場と事務所での林業従事者間の連携）」、「生産された木材の需要先とのマッチング（林業従事者と製材工場・木質バイオマスプラント等の需要者との連携）」、これらの 3つのセクションが適切に情報網で連結されシステム化された、いわば情報システム化林業をスマートフォレストリーと総称し（(1,2)、図 2-76）、これらの具現化を実証すべくプロジェクト事業を推進している。しかしながら、地域の森林資源と生産技術には独立ではなく、立木成長と地域森林を経営する計画、および生産技術の生産性がバランスすることが、地域林業がビジネスとして成立するためには必要である。



図 2-76 スマートフォレストリーの概念図

III 技術と経営計画とのバランス

素材生産技術が優れていれば生産能率は高く、生産コストは小さい。しかし高い生産性を得るための機械を含む作業システムの経費は高いのが通常である。当然それらを確実に減価償却するために、年間の稼働日数を確保することが必要である。例えば、機械装備費が 8,000 万円で、人件費、消耗品費が積算される機械作業班を想定する。減価償却期間 5 年、年間の稼働日数を 200 日として、作業経費は班日あたり 10 万円ほどとなる。この作業班で日当たり 50m³の素材を生産すると生産作業単価は 2,000 円は

どである。

同時に、高能率な作業班の事業量を確保するために、地域の森林施業が計画的に確実に遂行される必要がある。また複数年間の事業量を確実に得るために森林育成と収穫利用を計画的に行う必要がある。施業と育成利用の2面において計画的な遂行が求められる。

年間の生産事業によって得る素材材積 B を想定し、それを可能にする事業面積 A を算出すると式(1)であらわすことができる。ここで地域の森林は定められた輪伐期 $Y=60$ 年で循環伐採収穫することとする(以下同様)。また、除伐、間伐は以下の表1のように設定した。また年間の作業(機械稼働)日数を D とする。間伐 i における生産素材量を v_i 、その際の作業の生産性を p_i とする。単位面積あたりの素材生産量 V は、 $V = \sum_i v_i$ である。

$$A = \frac{DY}{\sum_i \frac{v_i}{p_i}} \quad (1)$$

また、同様に年間の作業日数 D と作業能率 p_i を想定し、それらをバランスさせる事業面積 A' は式(2)であらわすことができる。

$$A' = \frac{BY}{V} \quad (2)$$

以上の A と A' は等しくならないと、事業量と作業面積と作業水準(作業能率であらわされる)が、地域林業事業がバランスしないことになる。そこで、式1と式2であらわされる事業面積を等号でむすび式3をえる。

$$B = \frac{DY}{\sum_i \frac{v_i}{p_i}} \quad (3)$$

これによって当該条件のバランスする年間素材生産事業量が算出される。年間素材生産量と年間事業面積、素材皆伐作業での素材の生産性(間伐においては林齢によって皆伐の6割、4割程度を想定)の関係を見ると、現状の森林組合程度の組織では、順に $4,700\text{m}^3$ 、約 550ha 、 $30\text{m}^3/\text{班日}$ 、高性能タワーヤダを装備した先進的な事業体では順に $7,300\text{m}^3$ 、約 900ha 、 $50\text{m}^3/\text{班日}$ (表2-13)、今日的な最先端的な機械技術を導入した事業体では、順に $12,000\text{m}^3$ 、約 $1,500\text{ha}$ 、 $100\text{m}^3/\text{班日}$ はバランス点であることが導出された。

ここでは、主伐、間伐ともに同じ機械作業システムで作業すると想定したが、それぞれの処理能率の高い、または経費的に有利な機械作業システムで分担処理することが考えられる。そのような検討も課題である。

表 2-13 素材生産における出材量と事業面積のバランス

間伐率	0.4								
造材歩留り	0.6								
班当り事業量 B	7,300 m ³ /年								
年間作業日数 D	200 日/年								

$$B = \frac{DV}{\sum_i \frac{v_i}{p_i}} = 7,282$$

年	森林シナリオ	単木材積				伐採材積 m ³ /ha	出材積 m ³ /ha	作業生産性	
		伐採前 m ³ /本	本/ha	伐採後 本/ha	本/ha			m ³ /班日	ha当り作業 日数
0	植栽		3,000						
1	下刈り								
2	下刈り								
3	下刈り								
4	下刈り								
5	下刈り						v_i	p_i	$\frac{v_i}{p_i}$
10	除伐		2,500	1,800	700	0	0		$\frac{v_i}{p_i}$
20	間伐	0.10	1,800	1,080	720	72	43	20	3
40	間伐	0.30	1,080	648	432	130	78	30	3
60	主伐	1.00	648		648	648	389	50	8
	計					$V = \sum v_i = 510$			$\sum \frac{v_i}{p_i} = 14$

出材量を満たす 事業面積 A	859 ha
作業量を満たす 事業面積 A'	857 ha

IV おわりに 地域林業経営と技術の実装シナリオ

作業班あたりの年間の事業量を試算すると、高生産性な機械を装備する作業班でも年間に1,000弱の事業面積を与えることができれば、年間フル稼働することが示された。地域林業が積極的に素材生産事業を取りまとめて生産作業を推進することができれば、よくある森林が1万 ha ほどの市町村森林で人工林率が5割程度のところでも5班もの機械化素材生産作業班が事業し続けることができる。自然の影響を受け、社会的制約を受け、私的所有の自由さを許容して成り立つ。本研究では許容度のないモデルで検討を行った。許容度のあるモデルによる検討に展開していく必要がある。

引用文献

- (1) 革新的技術開発・緊急展開事業（うち地域戦略プロジェクト）パンフレット、ICTを活用した木材SCMシステムの構築、農林水産省、2016
- (2) スマートフォレストリーの可能性について—森林資源の利用高度化とビジネスの創出—、森林計画研究会会報、林野庁、1-9、2016

第5節 急傾斜林地での次世代高能率作業システムと木材生産

第1項 木材生産の現状

以上見てきたように我が国の林業は多くが山岳地にあり、急傾斜地での林業を強いられている。しかしこれまでの普及を進めてきた高性能林業機械作業システムは、基本は車両系機械であり、主に欧米を中心に発展した機械である。したがって急傾斜地に対応した機種は少ない。我が国の高性能林業機械の普及台数が、6000台を超え、また作業道作設技術の発展により林業専用道を含めた技術の普及もしてきた。残された林業機械化の課題は、急傾斜林地で高能率な作業システムである。

我が国の林業は、数年前の森林・林業再生プランから「路網と機械化、施業の集約化、技術者養成」を3本柱とし、新たに林業専用道、森林法の改正、フォレストリーの育成と活動している。そして政権が変わって、林野庁も新たに、地方創成、地域の活性化に向かって、「強い林業、林業の成長産業化」を目指している。

最近では、さらに林業の成長産業化として需要喚起を目的に、木質バイオマス利用、CLT（直交集成材）

の開発、集成材、合板を含む木材産業の活性化と合わせ、新たな需要の開拓を計っている。これに対応すべき、施業の集約化や路網の整備等により安定的かつ効率的な供給体制を構築するとともに、低コスト、高能率の林業へと川上の搬出技術開発の必要性が求められている。これらの原材料としての木材は、第1に安定的に供給されなければならない、第2に高級なa材より量的なb、c材の低質材を必要としている。

木質バイオマスについて林野庁によれば、間伐や主伐により伐採された木材のうち、未利用のまま林地に残置されている間伐材や枝条等が年間約2,000万 m^3 発生している。今後これらを利用していくためには、製材工場等残材や建設発生木材は、ほとんどが利用されているため、更なる木質バイオマスの利用拡大には、未利用間伐材等の活用が重要な課題である。2012年に策定された再生エネルギー価格買取制度(FIT Feed-in Tariff)によると、未利用材(32~40円)、製材工場などの一般材(24円)、850万 m^3 の8割が利用、建築廃材(13円)、1000万 m^3 の95%が利用されている。また木質バイオマス発電は、全国で80カ所あり、未利用材の利用も40カ所になっている。例えば、1カ所当たり5000kwの発電能力に対して年間6万t(10万 m^3)の木材を利用するために、安定供給が必要となる¹⁾。

一方供給体制については、我が国の丸太生産量は、平成26年木材統計によれば、1991万 m^3 、自給率は、77.8%になったが、依然として欧米先進国には及ばず、8000万 m^3 ずつ蓄積が増加している。現在の資源としての蓄積量は50億立方メートルになって、資源としての利用が待たれる(表2-14)²⁾。

また、国有林の森林資源の成熟に伴い主伐対象森林の増加が見込まれる中で、将来的に均衡がとれた齢構成となるよう配慮して計画された全国森林計画や国有林野の管理経営に関する基本計画等においては、今後、収穫量が大幅に増加する見通しである。林野庁によれば、平成25年度の収穫量(計画量)1,020万 m^3 に対して平成25年度から平成29年度までの年平均収穫量は1,120万 m^3 となっており、間伐等の収穫量約700万 m^3 が同水準で推移した場合、毎年度、主伐で約50万 m^3 、前年度比1割強ずつ増加させていく計画であり、それに合わせて更新面積も平成29年度頃には現行の2倍程度まで増やしていくこととなる³⁾。

以上見てきたように、これから要求される林業は、これまで高級とされたヒノキを中心としたa材の無垢材より、合板、集成材の材料としてのb、c材に中心が移っていくであろう。これらの製材は、多くが大きな工場で作られる。木材の消費量が年間5~10万 m^3 、あるいは20~100万 m^3 といった大量の素材を必要とする。従来はこれらの工場では、米材を中心とした外材を利用して、港に隣接した工場によって生産されてきた。しかし最近の為替の円高傾向によって、また国産材の成熟によって国産材の方向へと向かっている。工場の運営には、原材料の安定的供給が必要であり、小規模の季節変動型の素材生産では材料として不適である。

これは、嘗て林野庁の補助事業で山土場から工場への直送体制と安定供給を目指した「新生産システム」で取り組んだように、これをさらに進める方向であろう。さらに欧米における丸太の生産量(表2-15)、ha当たりの蓄積量と素材生産量を見ても日本の森林面積2500万ha、木材生産量1937万 m^3 に対してドイツでは同じく1000万ha、5614万 m^3 となっており、他の先進国と比しても我が国の森林は、資源としての利用の可能性は大きい(表2-15)。

表 2-14 欧米における丸太の生産量

国名(森林面積万ha)	丸太生産量(万 m^3)	自給率(%)
オーストリア(380)	1870	72
フィンランド(2200)	5077	91
フランス(1500)	5504	112
ドイツ(1000)	5614	93
スウェーデン(2700)	7210	92
ロシア(8500)	19700	112
カナダ(24500)	14507	101

アメリカ(22600)	32443	104
日本(2500)	1937	78

表 2-15 日本とドイツ、オーストリア、スイスの蓄積と素材生産量

国名	Ha 当たりの蓄積量	Ha 当たりの素材生産量
ドイツ、スイス、オーストリア	300 m ³ /ha	5 m ³ /ha
日本 2010 年	186	0.7
1970 年	86	1.9
1990 年	123	1.2
2002 年	160	0.7
目標 2020 年	207	1.6

FAO 2010 Global Forest Resources Assessment

- 参考文献；1) 吉田 誠、木質バイオマス資源の現状と課題、日本林業技士会 131 号、2015.4
 2) 小山登美男、再造林の低コスト化に向けた国有林の取り込み、日本林業技士会 130 号、2015.1

第 2 項 次世代高能率作業システムの生産費用

林業は、森林から木材を生産し、収入を得ることによって成り立っている。すなわち林業をやる上で一つの経営として成り立つためには、木材の売り上げによって生産費と利益を得なければならない。ここでの売上価格は、通常市場価格であり、原価は伐出生産費用が多く占める。その他の造林費、育林費等の原価は、森林経理学等の分野でいくつかの計算方法があるが、ここでは主として伐出作業生産事業費について述べる。

伐出生産事業費は、材料費、労務費、管理費の 3 要素に分けられる。材料費は、燃料費、消耗品費、修繕材料費等であり、労務費は役務費とも呼ばれ、賃金、各種手当、賞与等である。管理者の給料も役務費であるが管理費に入れる場合もある。管理費は材料費、労務費以外のすべてのものを含んだ概念で、例えば機械の減価償却費、同維持修理費、家屋の賃貸料、租税、光熱費、交通通信費等である。これら 3 要素は個別の費用毎に直接費用と間接費（共通費）とに分けられる。直接費は、製品の生産単位の原価であり、間接費は各製品に共通に発生する原価を言う¹⁾。

費用の分け方に固定費と変動費があり、固定費というのは、生産数量（操業度あるいは売上金額）の変化に関係なく一定である費用で機械の減価償却費、集材架線の架設・撤去に要する経費、盤台作設費、トラクタ集材を行う場合の作業道作設費であり、これに対し変動費とは、売り上げ、生産量に正比例して増減する費用で労務費、材料費等である。しかし、すべての原価が固定費と変動費とに明瞭に区分されるわけではなく、このいずれともつかない費用、例えば準固定費、遞減費、遞増費あるいは飛躍費等と呼ばれるものも存在する。このように費用には各種のものが含まれるが、固定費と変動費に分解される²⁾。

1. 機械損料

固定費の代表的なもので、これからの次世代林業機械に大事なものとして機械損料がある。ここで多くの伐出作業に用いられている林業機械の費用について述べる。機械作業の費用は、機械費用、労務費、燃料費などからなる。上述の変動費は、燃料費、運転手、運転助手の費用等の労務費、固定費は、機械の維持に必要な維持費、税金、原価償却費などの機械損料が当たる。特にこれからの次世代林業機械による作業はこの機械損料が重要である。

機械損料は、素材の生産量に関わらずその機械の稼働時間当たりにかかってくる費用で、償却費、定期整備費、現場修理費等の合計額である。通常、その額の機械購入費に対する比率を時間当たりの全損料率（％）と称し、これを機械購入費に乗じて求める。素材生産費の計算等に、作業1時間当たりの損料（円／時）を求める場合は、過去の実績から求められた高性能林業機械の種類別、購入価格、耐用時間、時間当たりの全損料率（％）等を示した標準の諸経費表を参照する。作業1時間当たりの損料（円／時）は、下記の計算式（1）より求めることができる³⁾。

$$\text{(作業1時間当たりの損料 (円/時))} = \frac{1 / 100 \times \text{(機械の購入価格 (円))} \times \text{時間当たりの全損料率 (％)}}{\text{耐用時間 (時間)}} \quad (1)$$

また、新しい機械等で時間当たりの全損料率が得られないような場合には、近似する機械の使用実績等から年間償却費、修理費等の概略を想定して次式により求めればよい。

$$\text{(年間の償却費、修理費の合計 (円/年))} = \text{(購入価格 (円))} \times \text{(償却比率} \\ \text{+整備、修理率)} / \text{(償却年数 (年))} \quad (2)$$

である。

管理費は、施設費、共通費などであるが、この作業費に分類するのが困難な費用で、総額として事業費全体に上乘せさせられる経費である。

1) 架線集材の場合の施設費としては、架設撤去費（架線の架設、撤去、張り替えに要する費用）であり、これに必要な所用人工と賃金からなる。

$$\text{(架設撤去費用 (円))} = \text{(架設撤去所用人工数 (人日/m))} \times \text{(架線長 (m))} \\ \times \text{(賃金単価 (円/人日))} \quad (3)$$

として求められる。なお、撤去、張り替え人工数は、通常、架設人工数に対し一定の比率を乗じて求める。

2) 搬出路作設経費：当該事業を効率的に行うために開設される簡易な道路施設などの作設費用であり、事業費で賄われるものである。典型的なものは、低規格の自動車道やトラクタ作業道等である。

2. 労務費

生産量あるいは売上量に比例してかかる費用は、変動費で、労務費、燃料費、材料費などである。単位材積当たりの労賃合計である労務費は、役務費ともいうが、次式により計算する。

$$\text{(単位材積当たりの労務費 (円/m}^3\text{))} = \frac{\text{(1事業単位の作業員の1日当たりの賃金合計 (円/日))}}{\text{(1事業単位の日作業量 (m}^3\text{/日))}} \quad (4)$$

または、

$$\text{(単位材積当たりの労務費 (円/m}^3\text{))} = \frac{\text{(1事業単位の1日あたり平均賃金 (円/人・日))}}{\text{(1事業単位の平均労働生産性 (m}^3\text{/人・日))}} \quad (5)$$

材料費は、燃料・油脂費であるが、機械の使用実績もしくは基準表等から、1つの運転に必要な燃料、潤滑油その他の油脂の1日当たりの消費量を求め式により計算する。

$$\text{(単位材積当たりの燃料・油脂費 (円/m}^3\text{))} = \frac{\text{((1機械作業1日あたり燃料または油脂等の消費量)} \times \text{(単価)の合計 (円/日))}}{\text{(1機械作業の日作業量 (m}^3\text{/日))}} \quad (6)$$

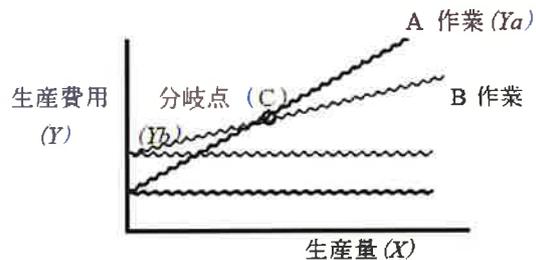
複数の機械で一連の作業を行う1事業単位の単位材積当たり燃料・油脂費は、個別機械毎の単位材積

当たり燃料・油脂費にそれぞれの機械作業の比率を乗じて合計すればよい。

3. 生産規模による生産単価

上記によって伐出作業生産の生産費について算出できることが分かった。ここで伐出作業生産について、生産する事業体の規模、生産高によってどのように生産単価が異なるかについてみる。

ここで採用する作業システムの違いによる生産単価について考える。たとえばA作業は小規模な機械によって行う作業システム、B作業は大型の機械と大規模な作業を行うシステム、とする。この場合はA作業の場合は、小型の機械によるために初期投資が小さい、B作業の場合は、大規模な機械のため初期投資が大きくなり、すなわち固定費が、Aは小さく、Bが大きい。これを図 2-77 に示した。



この図から分かることは、生産（量）規模がC点より小さい場合は、Aのシステムを採用し、生産量がC点より大きい場合は、Bのシステムが有利なことが分かる。

図 2-77 生産量と生産費

A作業について

$$\begin{aligned} \text{(生産費用)} &= \text{(固定費)} + \text{(変動費)} \\ Y_a &= A_a + B_a X \quad (7) \end{aligned}$$

B作業は

$$Y_b = A_b + B_b X \quad (8)$$

と表され、生産量がある一定量を超えた場合には、

A作業が有利になることが分かる。ある程度の生産量を超したときは大規模生産システムを採用した方が生産費が安くなり、この境目を分岐点という⁴⁾。

第3項 作業システムの生産費用の計算例

林業活性化に向かって高性能林業機械化が叫ばれ久しくなっている。コストを削減し、外国の木材に対抗できる作業システムを目指してのことである。この場合重要な鍵を握るのは労働生産性であり、最終的には機械費用を含めたコストである。

これまで述べた考え方に従ってコスト計算を試み、生産性の違い、機械の違い、稼働率の違いによってコストがどのように変わるかを見る。

そこで

(A) 小規模集材システム

従来型のチェーンソー伐倒、造材、林内走行車による搬出

(B) 大規模集材システム

高性能林業機械による集材システム；伐倒はチェーンソー、タワーヤードによる全木集材、プロセッサ造材

この2種の作業システムについてコスト計算をする。この場合計算例では、示した値を仮定して用い、年間の事業にとしての費用を計算した。

(A) 小規模集材システム

従来型のチェーンソー伐倒、造材、林内走行車による搬出

1) チェーンソーによる伐木造材の費用

チェーンソーの機械損料は、チェーンソーの価格(150,000円)、償却率(0.9)、維持費(1.03)、償却年数(3)とすると、

$$\text{年間の機械損料} = 150000 \times (0.9 + 1.03) / 3 = 96500 \quad (9)$$

燃料費は、1日3.8リッター、単価を200円、1日6時間、生産高6m³とすると

$$1 \text{ m}^3 \text{ 当たりの燃料費等} = [(3.8 \times 200) + (1.2 \times 300)] / 6 = 187 \quad (10)$$

役務費は、1日の賃金を16000円とすると、

$$1 \text{ m}^3 \text{ 当たりの役務費} = 16000 / 6 = 2667$$

以上によって1年間の木材生産量をXm³、年間の事業費用をY1円とすると(9)、(10)式より

$$Y1 = 96500 + 2854 X \quad (11)$$

2) 小型林内作業車集運材の費用

小型林内作業車の機械損料は、小型林内作業車の価格(1500000円)、償却率(0.9)、維持費(0.7)、償却年数(4)とすると、

$$\text{年間の機械損料} = 1500,000 \times (0.9 + 0.7) / 4 = 600000 \quad (12)$$

燃料費は、1日7.0リッター、単価を100円、モビール油0.5リッター、400円 生産高8m³とすると

$$1 \text{ m}^3 \text{ 当たりの燃料費等} = [(7.0 \times 100) + (0.5 \times 400)] / 8 = 113 \quad (13)$$

役務費は、1日の賃金を16000円とすると、

$$1 \text{ m}^3 \text{ 当たりの役務費} = 16000 \times 3 / 8 \times 2 = 3000 \quad (14)$$

以上によって1年間の木材生産量をXm³、年間の事業費用をY2円とすると

$$Y2 = 600000 + 3113 X \quad (15)$$

よって小規模集材型システムの1年間の事業費は、以下のようである。

$$Y_a = Y1 + Y2 = 696500 + 5967 X \quad (16)$$

(B) 大規模集材システム

高性能林業機械を用いた大規模集材システムによる年間の伐出作業費用を求める。

1) チェーンソーによる伐木の費用

チェーンソーの機械損料は、チェーンソーの価格(150000円)、償却率(0.9)、維持費(1.03)、償却年数(3)とすると、

$$\text{年間の機械損料} = 150000 \times (0.9 + 1.03) / 3 = 96500 \quad (17)$$

燃料費は、1日3.8リッター、単価を200円、1日6時間、この場合は伐倒だけで造材分を考えないと1日の生産高を12m³とする。

$$1 \text{ m}^3 \text{ 当たりの燃料費等} = [(3.8 \times 200) + (1.2 \times 300)] / 12 = 94 \quad (18)$$

役務費は、1日の賃金を16000円とすると、

$$1 \text{ m}^3 \text{ 当たりの役務費} = 16,000 / 12 = 1334 \quad (19)$$

以上によって1年間の木材生産量をXm³、年間の事業費用をY1円とすると

$$Y1 = 96500 + 1428 X \quad (20)$$

2) タワーヤードによる集材作業費

タワーヤードの機械損料は、タワーヤードの価格(8000000円)、償却率(0.9)、維持費(0.96)、償却年数(4)とすると、

$$\text{年間の機械損料} = 8000000 \times (0.9 + 0.96) / 4 = 3720000 \quad (21)$$

燃料費は、1日7.0リッター、単価を100円、モビール油0.5リッター、400円 生産高8立方とすると

$$1 \text{ m}^3 \text{ 当たりの燃料費等} = [(10.0 \times 100) + (0.5 \times 400)] / 25 = 48 \quad (22)$$

役務費は、1日の賃金を16000円とすると、

$$1 \text{ m}^3 \text{ 当たりの役務費} = 16000 \times 3 / 25 = 1920 \quad (23)$$

以上によって1年間の木材生産量を $X \text{ m}^3$ 、年間のタワーヤードの事業費用を $Y2$ 円とすると

$$Y2 = 3720000 + 1968X \quad (24)$$

3) プロセッサーによる造材費用

プロセッサーの機械損料は、プロセッサーの価格(15000,000 円)、償却率(0.9)、維持費(1.1)、償却年数(5)とすると、

$$\text{年間の機械損料} = 15000000 \times (0.9 + 1.1) / 5 = 6000000 \quad (25)$$

燃料費は、1日 20 リッター、単価を 100 円、モビール油 0.85 リッター、400 円
生産高 25 m^3 とすると

$$1 \text{ m}^3 \text{ 当たりの燃料費等} = [(20 \times 100) + (0.85 \times 400)] / 25 = 94 \quad (26)$$

役務費は、1日の賃金を 16000 円とすると、

$$1 \text{ m}^3 \text{ 当たりの役務費} = 16000 \times 1 / 25 = 640 \quad (27)$$

以上によって1年間の木材生産量を $X \text{ m}^3$ 、年間のプロセッサーの事業費用を $Y3$ 円とすると

$$Y3 = 6000000 + 734 X \quad (28)$$

よって大規模集材型システムの1年間の事業費は、は以下のものである。

$$Yb = Y1 + Y2 + Y3 = 9816500 + 4130 X \quad (29)$$

第4項 年間事業量と作業システム

1 生産システムによる年間事業量

従来型の作業システム (A) と高性能林業機械による作業システム (B) について年間の生産量の違いによってそのコストがコストにどのように及ぼすかを検討する。(16)、(29)式の X に年間の作業量を適応すれば年間の事業費が得られる。

図-1 は、上記計算結果について、作業システム(A)と (B)で作業を実施した場合の年間の事業費用を示したものである。

ここでこの分岐点を上記計算結果によって求める。

$$Ya = Y1 + Y2 = 696500 + 5967 X$$

$$Yb = Y1 + Y2 + Y3 = 9816500 + 4130 X$$

この式を $Ya = Yb$ より求められる。 $X = 4965 \text{ m}^3$ の値がえられる。

すなわち約 5000 m^3 に分岐点があり、これより多い場合には高性能林業機械を導入してもよく、これ以下の場合には従来型がよい。

計算上はこのような結果になったが、労働安全等を考えた場合には、ある程度の事業量を確保した場合には高性能林業機械を導入すべきであろう。

2 工程間のバランス

上記の生産システムの例にも示されているとおり、伐木・造材作業はいくつかの工程に分かれ、それぞれの工程に用いる機械も異なるので、各工程の生産性も異なった数値となる。先の例でチェーンソー作業の作業効率が $20 \text{ m}^3/\text{人} \cdot \text{日}$ 、タワーヤード集材工程が $30 \text{ m}^3/\text{人} \cdot \text{日}$ 、プロセッサ造材工程が $25 \text{ m}^3/\text{人} \cdot \text{日}$ となっているようなものである。

このように各工程間の生産性が異なる場合に、全体を通じた生産性は次のようにして求める。即ち、全体の生産性を E 、各工程の生産性を e_1, e_2, e_3, \dots (単位はいずれも $\text{m}^3/\text{人} \cdot \text{日}$) とすると、 e_1, e_2, e_3, \dots 等の逆数がそれぞれの工程の単位材積当たりの所要人工数 ($\text{人} \cdot \text{日}/\text{m}^3$) であるから、これらを合計したのちにその逆数をとれば、それが全体の生産性 E の値となる。即ち、(30)式のものである。

$$1/E = 1/e_1 + 1/e_2 + 1/e_3 + \dots \quad (30)$$

(30)式で具体例について計算して見ると分かるが、 E の値は e_1, e_2, e_3, \dots 等うち最も小さい値よりも更に小さい値となる。即ち、複数の工程から成る業が行われる場合に、その中に非常に生産性が悪

い、換言すればeの値の小さな工程が存在すれば、その他の工程の生産性がいかに高くても全体の生産は最も悪い生産性の工程に左右され、それ以下の値にしかならない。このことから、各工程の生産性即ち1日当たりの生産量は等しい値であることが理想的であり、そうでない場合でも出来るだけ近似させる必要がある。チェーンソー作業のように人力主体の作業では、作業員の増減で比較的容易に行程全体の日生産量の調整ができるが、機械を中心にした作業では容易でと。前述の例のタワーヤード集材工程のように、能力をフルに発揮できないこともしばしば生ずる。要するに、機械中心の作業で工程間に生産性の差が存在するときに、それが僅かであれば作業時間の調整などで解決することもできるが、その限度を越えると高い生産性の方を低い方の工期に合わせなければならなくなり、そこには多大の無駄が発生することとなる。

工程間の生産性に互いにバランスが採れていることが、作業を行う上で最も必要なことなのであり、仕事量が十分に確保出来る場合には、工程ごとに複数の機械を投入してでも、工程間の生産性のバランスを採る必要がある。

参考文献

- 1) 南方康：機械化・路網・生産システム、日本林業調査会、pp.265、1991
- 2) 上飯坂 實・神崎康一；森林作業システム学、文永堂出版、pp.292、1990
- 3) 小林 洋司：森林利用学、東京大学森林利用学研究室、pp.161、2006
- 4) 辻井辰雄他：機械化のマネジメント、全国改良普及協会、pp. 239、2001

第5項 急傾斜地における次世代高能率作業システムとコスト

1. 概要

林業を取り巻く社会情勢は、厳しいものがある。こういったなかで低コスト化を目的とし、車両系を中心とした高能率な機械が導入され、成果を上げている。ところが急峻な山岳地にはこういった機械を導入することがなかなか困難である。本課題は、この急傾斜地における高能率な機械、特に次世代高能率作業システムとして、タワーヤード等を導入した場合の高能率な作業仕組みを考究することを目的として行ったものである。

近年、林業の低迷がいわれ久しくなっている。その解決策として搬出における低コスト化が叫ばれ、車両系の機械が搬入され、高性能機械による生産性の向上が行われ始めている。しかし車両系の機械の投入できない急峻地で、生産性を上げるためにはタワーヤードを主体にした作業システムの導入が適切であろう。

2. 次世代 タワーヤードによる集材方法

わが国におけるタワーヤードによる集材も最近行われるようになり、外国からの導入機種、国産の開発機種が数種であり、今後も増加するものと思われる。全体の機種を見ると集材距離100~300mの小型、同じく300~800mの中型、800m以上の大型あるいは定置式の集材機であろう。これを見ると大型の場合は、集材区域が大きくなる反面、土場、作業ポイントとしてのタワーの位置はしっかりしたものが必要であり、堅固な路体をもつ林道沿いから行うことになる。小型の場合は短距離の集材距離となるが頻りに架線の掛け替えを必要とし、高密度の作業道を必要とする。このように考えられるので従来の路網密度理論からすると、複合的路網密度の理論が適用できよう²⁾。路網の発達過程の程度によって密度の低い段階では、長スパンをもつ大型のタワーヤードが有利であり、路網がある程度発展してくると短距離集材に有利な小型のタワーヤードの導入が有利となる。

3. 集材費用の計算

ここで集材手段としてタワーヤードを考え、総合集材費用を計算する³⁾。ここで大型のタワーヤードとして外国

製の次世代タワーヤード、小型としては国産を用いる。

1) 機械費用

機械にかかる費用を計算する。1時間あたりの機械の費用 (Mt) 以下のようになる。

$$Mt = Mc + Mr \quad (1)$$

$$Mc = \frac{Ps (E1+E2) I}{Y \cdot H \cdot N} \quad (2)$$

$$Mr = Og + Ol + W \quad (3)$$

Mc:1時間当たりの機械損料、Mr:1時間当たりの運転経費、Ps 購入価格、E1 償却費率、E2 定期整備費率、Y:耐用年数、H:1日当たりの稼働時間、N:年間の稼働日数、Og:1時間当たりの燃料費、Ol:1時間当たりのオイル等の費用、W:役務費

2) 架設撤去費用

次に架設撤去費用について集材1 m³についての計算を行った。

$$Cc = S1 + S2 \quad (4)$$

$$Cv = Cc / Vt \quad (5)$$

Cc:架設撤去費用合計、S1:架設費用、S2:撤去費用、Cv:1 m³当たりの架設撤去費用、Vt:1架線当たりの集材量

3) 1時間当たりの集材量

1時間当たりの集材量を求める。

$$Yv = 36000Vm / Cm \quad (6)$$

Yv:1時間当たりの集材量

Vm:1荷当たりの集材材積

Cm:サイクルタイム

4) 1 m³当たりの合計集材費用

以上の値から1 m³当たりの集材費用を求めた。

$$Gm = Mt / Yv + Cv \quad (7)$$

Gm:1 m³当たりの集材費用

5) 集材距離に対する費用関数

複合的路網密度を求めるには集材距離に対する費用を求めなければならない²⁾。

集材距離に対する費用関数は(7)式から下記のようになる。

$$F(l) = \frac{Mt Cm}{3600 Vm} + Cv = \frac{(Mt \cdot (a+l+b))}{(V m^3 600)} + Cv \quad (8)$$

$$= \alpha \cdot l + \beta \quad (9)$$

F(l):集材距離lに対する集材費用 l:集材距離

a,b:集材距離に対するサイクルタイムの1次回帰直線の係数

α 、 β :集材距離に対する集材費用の1次回帰直線の係数

以上であるがこれから各費用を求めるには各因子の値を求めなければならない。

ここで大型のタワーヤードとして外国製の(T)、小型として国産の(R)とし、1990年、1991年の測定および文献(3)による結果を利用しサイクルタイム、平均集材距離別の費用を求めた。一部の不明な因子は推定による結果を用い

ている。結果を表-1 に示す。

4. 適正路網密度の計算

複合路網の適正路網密度算定式は文献(4)によった。この場合の集材因子に関わる因子の値は上述の結果を用い、そのほかの施業、地形は適用する地域すなわち住田町合地沢地区のデータを使用した。重要な因子として林道の開設単価として30,000円、作業道の単価は4000円/mを用いた。

結果は図 2-78 のようになり、林道が15m/ha、作業道が47m/haとなった。

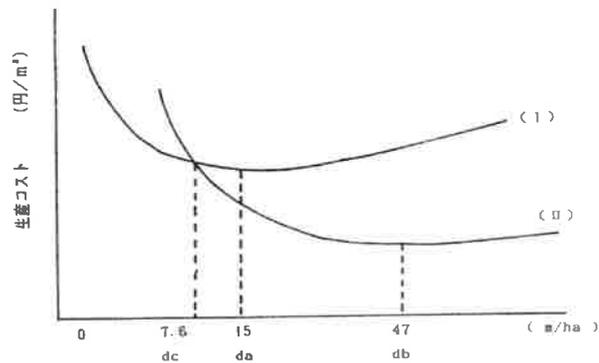


図 2-78 複合路網密度の計算結果

5. 住田町合地沢地区における適用例

以上の結果を用いて住田町合地沢地区において適用した。92ha、林道の既設延長は1500m、林道密度16 m/ha。既設路網の位置を図-2 に示した。計算により到達距離を算出したところ平均の到達距離が272.8m、150m以下の区域が全体の35.2%であった。この地区にタワーヤードを使用する場合にはスパンが500m以上要求され、小型のタワーヤードでは不足であることが分かる。そこでさらに上述で求めた適正路網密度の47m/haまで路網配置を行ったのが図に示す計画線である。この路網計画全体について評価をすると、表-2 のようになり到達距離の分布からすると150m以下が99%となっている。従ってこの路網計画であれば小型のタワーヤードで充分であることが分かる。

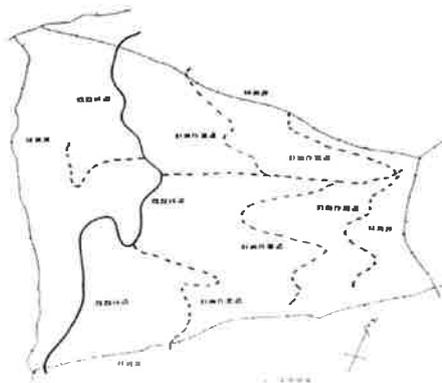


図 2-79 合地沢地区の路網配置結果

表 2-16 合地沢地区の到達距離の分布
 -大型計算機出力による新設区間を含む-

到達距離 m	等距離面積 m ²
50	490000
100	356875
150	114375
200	16250
250	3750
300	625

平均到達距離は 58m

6. おわりに

以上、タワーヤードを用いた場合の路網計画について論じてきたが、結論としては路網の少ない地域については、ある程度のスパンをもった大型に近いタワーヤードを適用すること、ある程度まで、ほぼ 50m/ha 以上の路網が発達した地域では小型のタワーヤードを適用するのがよいことが分かった。

引用文献

- 1) 小林洋司: 宇大学学报 38、1～ 101、1983
- 2) 南方康・酒井秀夫・伊藤幸也: 東大演報 74、81～ 96、1985
- 3) 林業機械化協会: 低コスト林業機械化作業現地実証事業実施報告

第3章 急傾斜林地での次世代作業システムと森林基盤整備

第1節 次世代高能率作業システムと森林基盤整備

第1項 概要

急傾斜林地での次世代架線集材法を含めた次世代作業システムの構築を目指し、急傾斜林地における人工林を中心とした高能率作業体系と森林基盤整備について考察する。高性能林業機械は、既に全国で7000台（2016年現在）を突破した。高能率作業システムを構築するためには、特に大型化する次世代林業機械にあった路網計画が必要である。ここでは、観点を次世代作業システムとし、路網整備はどうあるべきかについて考察した。

以下、次世代林業機械に視点をおいた場合の路網はどうあるべきかについて述べる。

- ① 次世代高性能林業機械はほとんど自走機能を有する機械であり、林内を自由に走行する可能性を持っており、路網は機械の走行を急傾斜林地でも、「線的」に可能としつつ、伐木運材作業を全て「面的」に実施可能ならしめるように路網整備を図ること。
- ② 次世代高性能林業機械は、導入する森林の資源量や地形によって適用される機械が選択されることから、路網整備は当該高性能林業機械の機能が十分に発揮されるような路体構造、作業ポイント、路線の配置をとること。
- ③ 次世代高性能林業機械は、概して大型の自走式機械であることから、林道の構造とりわけその幅員を十分確保しておくこと。
- ④ 次世代高性能林業機械は、伐倒、集材、造材の作業が複数の機械の組合せによって大規模に行われ、この作業は、路面上もしくは路側で行われることから作業が円滑に実施できるような作業ポイント、施業ポイントの設置などの構造を有すること。

以上が森林基盤としての路網に要求される条件であるが、急傾斜林地での林道の作設には構造物の作設費、土工作业等は、緩傾斜林地における作設費に比べ、多くの費用を要する。さらにこれらのことは当然のことながら経済的コストに見合うこと、かつ自然環境保全にも十分配慮して行うことが重要であり、これを技術的に保証することである。

林野庁は、平成23年7月の全国森林計画の中で、路網密度の目安を示し、急傾斜地で架線系作業システムの場合、15～50m/ha、急峻地の架線系システムの場合、5～15m/haとした。また林道の望ましい延長の全国での目標を示すと、現状の19万kmに対し36万km程度としている。

さらに林道・作業システム検討委員会において、路網を構成する道の整理を行った。具体的には、これまで一時的施設と位置付けられていた作業道も含め、路網とは、森林の多面的機能を持続的に発揮していくための基盤であり、長期にわたって使用していくことを前提に整備していくべきであるとしている。その上で、路網を「車道」と、主として林業用の機械が走行する「森林作業道」に区分し、さらに「車道」を一般の車両の走行を予定して開設する「林道」と森林施業専用の車両の走行を予定して開設する「林業専用道」に区分することを提言し、次のように位置付けている。

- ① 「林道」は、原則として不特定多数の者が利用する恒久的公共施設であり、森林整備や木材生産を進める上での幹線となるものである。
- ② 「林業専用道」は、主として特定の者が森林施業のために利用する恒久的公共施設であり、幹線となる林道を補完し、森林作業道と組み合わせて、森林施業の用に供する道をいい、普通自動車（10トン積程度のトラック）や林業用車両（大型ホイールタイプフォワード等）の輸送能力に応じた必要最小限の規格・構造を持つことにより、森林作業道の機能を木材輸送の観点から強化・補完するものである。

③「森林作業道」は、特定の者が森林施業のために利用するものであり、主として林業機械（2トン程度の小型トラックを含む）の走行を予定するものである。また、集材等のために、より高密度な配置が必要となる道であり、作設に当たっては、経済性を確保しつつ丈夫で簡易な構造とすることが特に求められる。

林道は、通常的一般公道と同じようにその建設費は、国費によって補助される。この補助は森林法によって保証されるものである。林道は大きく分けて民有林林道と国有林林道に分けられる。国有林道は国有林野事業の中で行われ、幹線林道と事業林道に分かれる。

参考；林野庁ホームページ

表 3-1 急傾斜林地における路網水準の目安

単位 m/ha

区分	作業システム	基幹路網			細部路網	路網密度
		林道	林業専用道	小計	森林作業道	
急傾斜地 (30~35°)	車両系 架線系	15~20	0~5	15~25	45~125	60~150
					0~25	
急峻地 (35°~)	架線系	5~15	—	5~15	—	5~15

表 3-2 急傾斜林地における作業システムの例

区分	作業システム	最大到達距離		作業システムの例			
		基幹路網から	細部から	伐採	木寄せ・集材	造材	運材
急傾斜地 (15~35°)	車両系 架線系	300~500m	50~125m	チェー	スイングヤーダ	プロセッ	フォワーダ
				ンソー	タワーヤーダ	サ	トラック
急峻地 (35°~)	架線系	500~1500m	500~1500m	チェー	タワーヤーダ	プロセッ	トラック
				ンソー		サ	

現在、次世代林業機械化ということにおいて先進国とされている国としては、カナダを中心とする北米、スウェーデン、フィンランド、ノルウェイの北欧の諸国、オーストリア、ドイツの中欧の国々であろう。これらの国ではそれぞれ森林の状況、林業の発達過程が異なり、高性能な林業機械化作業システムに違いがみられ、林道網についての考え方も異なる。そこでここでは代表的な次世代作業システムとして平坦地形型の北米（アメリカ、カナダ）、緩傾斜型北欧（スウェーデン）、急傾斜地形型の中欧（オーストリア）、中傾斜型の中欧（ドイツ）について、次世代林業機械化作業システムと路網整備について述べる。

第2項 平坦地形型の次世代作業システムと路網

平坦地形型の代表としてアメリカ、カナダ林業は、地形が平坦であるため車両系林業機械である。林道は、必要に応じ作設されるが、施業林道というより到達林道の概念に属するもので道路密度としては捉えにくい。しかしながら幹線林道は2車線の走行速度も40から60km/hrといった高性能で、幅員も10m以上もある。作業道も搬出に応じて作設される。

カナダでの林業生産例であるが、東部ニューブランズウィック州にあるF株式会社の経営する森林で所有規模82.7万ha、自社所有40万ha、残りが公有林、公有林は伐採権と造林の責任をもっている。針葉樹の一斉林で、更新の状況も極めて良好である。従業員は240名を擁し、森林内には2車線の10mの林道が縦横に走り、トレーラーが60km/hrの速度で行き交い、生産は、最新のハーベスタ、プロセッサ、デリンバ、スラッシュャといった高能率機械によって、さながら現場は大きな製材工場のような感

じで行われていた。伐区も 60~120ha 規模の皆伐施業が行われ、生産高は年 70 万 m³である。

この作業の特徴は、3つの機械（フェラーバンチャ、スキッド、プロセッサ）の連携による高能率な作業システムである。スキッドも走行速度が最大 25km/hr と高速であり、広範囲の林地を対象に集材することができる。フェラーバンチャによって伐倒、はい積み、全木のまま土場までスキッドで集材される。そのため土場はかなり広い面積を要する。能力としては 1日当り 100 m³、一伐区当り 1,000~2,500 m³能率の上がる規模である。

スキッドの最大適正集材距離は 200 から 300m、土場の間隔は 600m ぐらいが能率がよい（図 3-1）。したがって林道密度を(1)式より試算すると、

$$d = 2500 (1 + \eta) / a \dots\dots\dots (1)$$

平均集材距離 a = 300/2 = 150m を代入すると d = 23.3m/ha 但し、η = 0.4 とする。

集材路との関係で考えられる型は図 3-1 のとおりである。

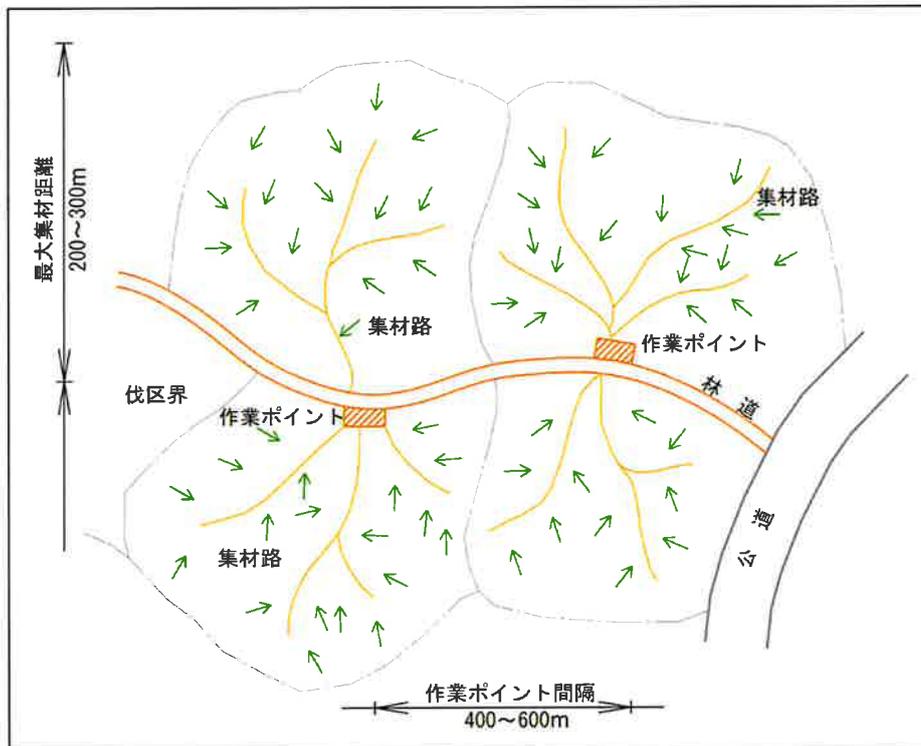


図 3-1 フェラーバンチャとスキッド型における林道と作業ポイント

第 3 項 緩傾斜地型の次世代作業システムと路網

この代表としてのスウェーデンは、FAO2010 年の統計によれば国土面積は約 4,500 万 ha、森林面積は約 2,820 万 ha 国土面積の 69%をしめている。林道は一般道路と明確な区分はないが、南スウェーデン (20.8m/ha)、中部 (12.0m/ha)、北 (7.1m/ha)、国内平均 (11.6m/ha) となっている。構造は、林道の等級によって次のように区分されている。

- A：トラック及び乗用車が通年通行可能
- B：凍結の融解時期を除き通行可能
- C：トラックは凍結の融解時期と雨期を除き、乗用車は融解時期を除き通行可能
- D：トラックは主として冬期間通行、乗用車は夏でも通行可能

森林面積の 62%は傾斜が 5 度以下という地形の関係から以上のようになっている。

この地方は主としてハーベスタ、フォワーダによって搬出する。ハーベスタは伐倒から玉切までを行う機械である。このシステムの能率はフォワーダの集材能力に影響される。フォワーダの走行速度は 10 km/hr ほどでスキッド等より幾分遅い。



図 3-2 ハーベスタとフォワーダ型の林道と作業ポイント

このシステムの能力は1日当り 40~80 m³、伐区当り 1,000~1,500 m³ と考えられ、平坦地形型の最大集材距離より幾分短い 150~250mほどである。平均 200mというところであろう。従って作業ポイント(土場)の間隔も 400mとなる。傾斜が幾分急な場合はフォワーダの代わりにトラクタを用いることもできる。この場合はトラクタの集材路を考えればよい。

上記と同様に(1)式より林道密度を試算すると
 平均集材距離 $a = 200 / 2 = 100\text{m}$ を代入すると $d = 32.5\text{m} / h a$ となる。

但し $\eta = 0.3$ とする。

集材路との関係で考えられる型は図 3-2 のとおりである。

第4項 中急傾斜地形型における次世代作業システムと路網

この代表としてのオーストリアは、FAO、2010年によれば国土の46%が森林であり、経営林の57%が地形傾斜30度を越える。森林の55%は200ha以下の所有の小規模備森林である。林道開設の目的は、森林の計画的な経営管理、集約的な森林造成、木材の経済的な伐出生産、森林保護、災害防止などのためであり、トラック通行可能な十分な密度をもった林道網の早急な整備を図るべく努力をしている。

経済林における現在の既設林道総延長は約106,500kmでこれは33.7m/haの密度に相当するが、目標は山岳林において林道間隔200~400mの範囲にするため、連邦林25m/ha、大規模民有林(200ha以上)30~35m/ha、小規模民有林(200ha未満)で40~60m/haにおいて全国平均で約42m/haと推定されている。

このケースによる目標林道密度は、対象林における生産の可能性および木材の収穫方式によって変化する。すなわち普通集材方式はより高密な路網を必要とし全幹集材、全木集材の場合は高度の機械化に支えられて低密路網で十分とされている。

オーストリアにおける機械化作業については、伐採は地形が急峻のためほとんどチェーンソーによっ

で行われている。集運材はタワーヤード 61%、架線集材 20%、人力 15%、蓄力 4%となっている。集材方式は短幹集材 71%、全幹 23%、全木 6%で所有規模が大きくなるにつれて全木方式を採用しておりしかも徐々に増加している。

次世代作業システムとして考えられる集材方式は、中急傾斜地としてチェーンソー、次世代大型タワーヤード、プロセッサによる搬出システムである。すなわちチェーンソーで伐倒し、次世代大型タワーヤードで集材、林道端でプロセッサの造材である。

次世代大型タワーヤードは、最大集材距離としては 300~600m可能であるが、架設、撤去を考えた場合には能率の点から最大 400mぐらいが適正であろう。近年上げ木、下げ木も可能となり、林道の両サイドからの集材ができる。木寄せの距離は 20~30m ぐらいであろう。路網密度を(1)式より計算すると

平均集材距離 $a = 400\text{m}/2 = 200\text{m}$ $d = 17.5\text{m}/\text{ha}$ となる。

但し $\eta = 0.4$ とした。

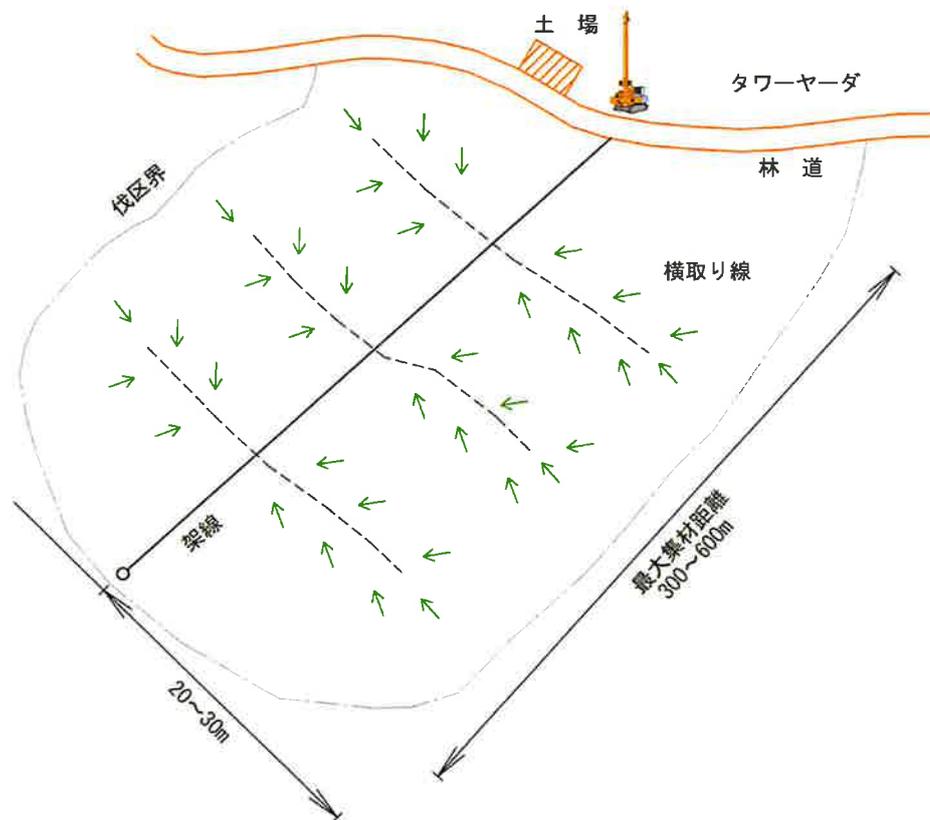


図 3-3 大型タワーヤードによる集材作業システム

第5項 中傾斜地形型における次世代作業システムと路網

この代表としてのドイツは国土面積約 34,877 千 ha、森林面積 11,076 千 ha、国土面積の約 32%である。バーデンヴェルテンベルグ州はドイツ西南部に属しスイス、オーストリアと接している。林野率は 37% である。バーデンヴェルテンベルグ州の機構は頂点に食料農業環境省があり、その下に 2 つの営林局があり、森林署が 163 である。バーデンヴェルテンベルグ州の森林の所有形態は、州有林が約 25% で 35 万 ha、自治体の森林約 40%、私有林約 35%の割合である。林道密度は約 50m/ha、作業道は以下に述べる林分の細部開発の考え方によって行う。

林分の細部開発の基本的考え方は、収穫された林産物をそれぞれの林分から搬出できるようにすることである。したがってここでは林道上を普通自動車が走行するのに対し、集材は、小型タワーヤードあ

るいはスイングヤーダで集材される。小型タワーヤーダによる集材は、地形の急峻な細部開発を行うため最大集材距離は、100～200mである。

同じく 路網密度を (1) 式より計算すると $a=150m$ $d=23.3m/ha$ となる。

小径木や幼令林の場合は、トラクタのタワー付き集材車によって行われる場合がある。林道に沿って、架線間隔 30m おきに間伐が行われる。

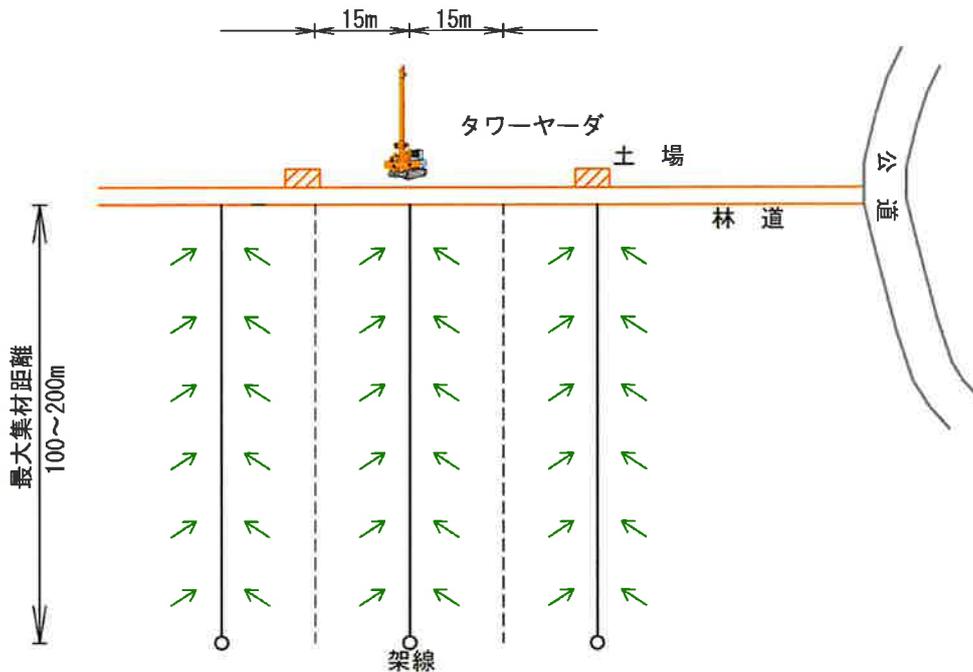


図 3-4 タワーヤーダ集材 (小径木、小規模集材)

第6項 次世代タワーヤーダを用いた事業例

福島県白河市において調査したシステムは、次世代タワーヤーダとグラップル、剥皮機械、大型チップパー車、チップパー運送車によるバイオマス収穫現場であった(図 3-5)。

事業地は、福島県白河市工業団地造成地、地形は小起伏地の丘陵地である。伐採面積は、36ha 事業期間は、3ヶ月、材積約 6000 m³である。タワーヤーダは、主索が最大 800m、横取り最大左右 80m、荷揚げ力 5t、搬器速度 500m/分とエンジン馬力 200 馬力という文字通り、従来にはない機械である。タワーヤーダ (オートパワーマスト K602) の他に剥皮機械 (フレールデリンバーデバーカー) は、600 馬力、大型チップパー車 (チップパーベスターモデル 23) は 1000 馬力いずれもアメリカ製で合計約 2 億円というシステムである。生産は、パルプ用チップパーの生産で 10 m³ 積のチップパー車が 1 時間に 2 台で 4 回搬送する生産性で、伐採から生産まで素材で 100 m³/日以上という生産性であり、まさに著者がかつてカナダで見た生産現場の様相であった。私たちが言う次世代作業システムを見た感じであった。作業員 (いずれの人も機械オペレータ) は、若い人であった。

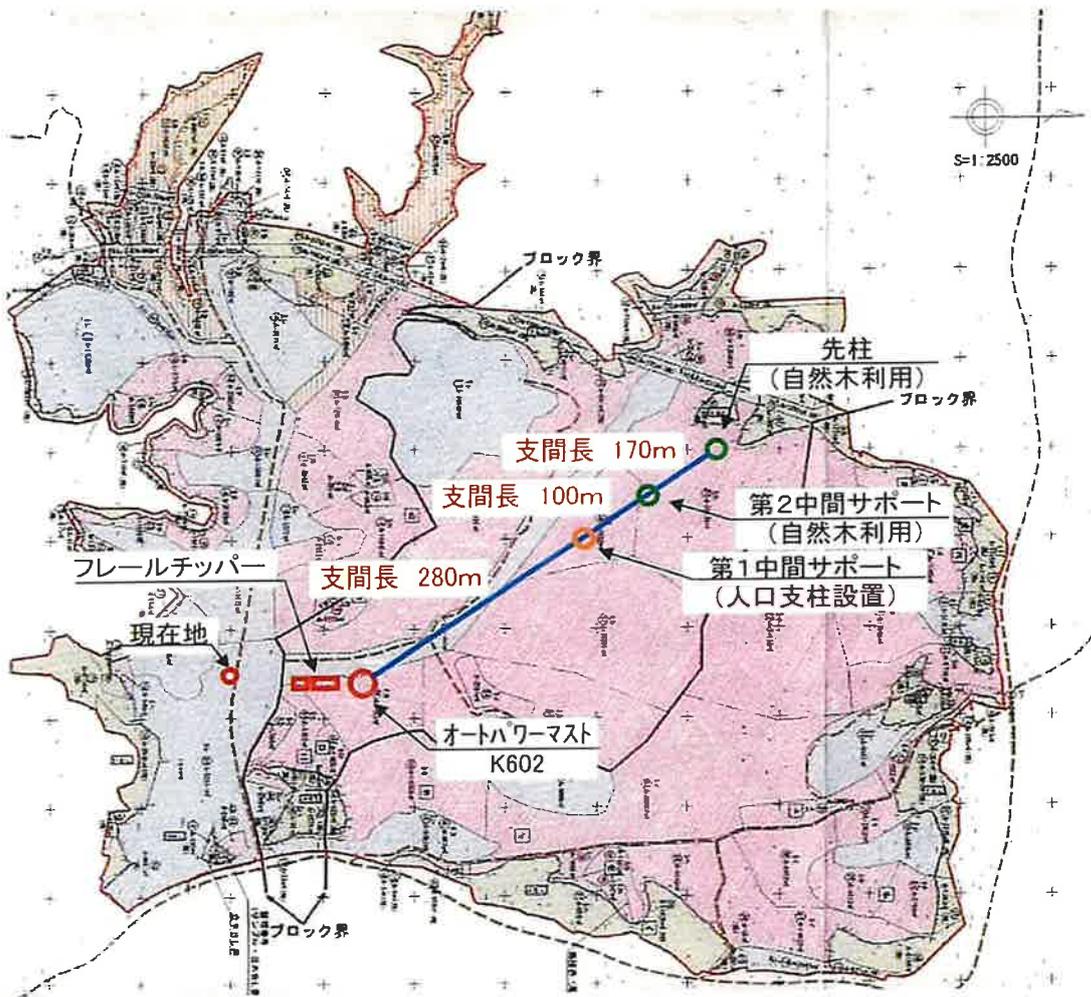


図 3-5 次世代作業システムによる事業地
(満山グリーンプロジェクト)

参考文献

- 1) 小林洋司：森林基盤整備計画論、日本林道協会、1977
- 2) P.Dietz, W.Knigge & H.Loeffler: Walderschliessung(神崎康一他 訳 1988)

第2節 急傾斜林地での森林基盤整備計画への展開

第1項 概要

森林基盤のうち、ここでは林内路網整備を中心にして急傾斜における計画の展開を検討していく。ここでいう計画については、計画を何に使うかにより使用する図面の精度すなわち縮尺が変わることになる。これは対象とする森林の面積の違いにより変わるものであり、この内容について表 3-3 に示した。

前述したように 10mDEM データについては公開されており、1/5000 の縮尺における図上での検討が容易になってきた。この精度とは林道全体計画の精度であり、この DEM データからデータを起こして路網計画を検討することはできるが、やや精度の粗いものとなる。一方、空中及び地上波のレーザープロファイラによって取得できる DEM データは 1m という精密なものであり、このまま図上である程度の検討ができる精度である。

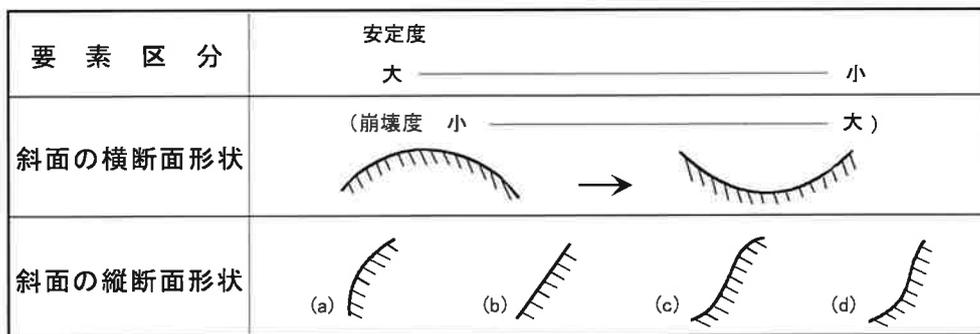
表 3-3 計画区分別の調査方法等

種別	民国別	計画期間	1計画区の面積	調査方法	策定者	備考
全国森林計画	民	5年ごとに15年を一期	11万～130万ha	衛星写真、航空写真、航空レーザー	農林水産大臣	全国44広域流域
国有林野の管理経営に関する基本計画	国	5年ごとに10年を一期	国有林全体			
地域森林計画	民		1万3千～72万ha	航空写真、航空レーザー	都道府県知事	全国158計画区
国有林の地域別の森林計画	国		2百～45万ha		森林管理局长	
市町村森林整備計画	民		数百～10万ha	航空写真、航空レーザー、地上調査	市町村長	地域森林計画の対象となる民有林が所在する市町村
地域管理経営計画 国有林野施業実施計画	国		2百～45万ha		森林管理局长	全国158計画区
森林経営計画	民	5年ごと	～100ha	地上調査 既存の航測データ	森林所有者又は委託を受けた者	林班の1/2以上：林班、30ha以上：区域、100ha以上：属人

第2項 計画に必要な因子

①地形

地形は森林基本図の他、前述したように公開されたDEMデータがある。急傾斜地における森林基盤整備計画を編制していく中で特に留意すべき事項は地形、地質である。急傾斜地における林内路網は、切高が高くなり、盛土可能な箇所では盛高が高くなりやすく、崩落が発生した場合の土砂移動量が多くなる。



(「斜面災害の予知と防災」、白亜書房)

図 3-6 斜面形状と安定度

図 3-6 は斜面形状と安定度を示したものである。斜面横断面形状では、凹型に崩壊が多く凸型に少ない。斜面の縦断面形状では一般に (d)、(c) に崩壊が多く、(b) がこれに次ぎ、(a) ではほとんど発生を見ないとされている。一方、地形図の等高線間隔が一定に表記されている斜面 (山腹平衡斜面) は、地表の安定性に対する問題は少なく、周囲より際立って広くなったり、乱れたりしている部分 (山腹凹・凸面、侵食、堆積面) は過去に何らかの変化を起こした個所である可能性が高い。計画にあたっては、これらの特徴を整理する必要がある。

最近ではレーザープロファイラのデータを基にして地形の変化=微地形を把握しやすいように加工したデータが利用されることが増えてきた。空中写真を立体視することなく地形の変化を捉えられるものであり、読図による地形の判読が簡易にできる。長野県のように県主導でデータを整備して、所定の手続きによって利用できるような場合もあるが、一般にはシステム開発会社から販売されているものを利

用することになる。

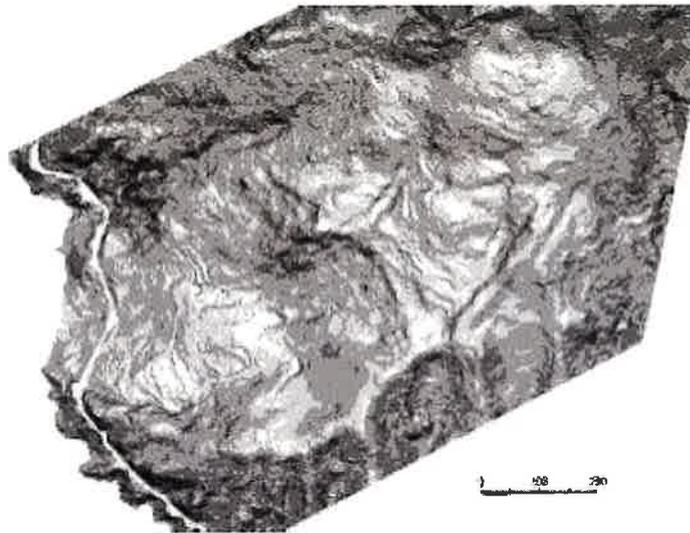


図 3-7 微地形表現図の一例

②地質

地質については、全国的なデータとしては国立研究開発法人産業技術総合研究所が公開している地質図 NAVI がある。これらのデータのうち 20 万分の 1 表層地質図については、ラスタデータの利用ができるようになっており数値化によって GIS 上での利用ができるようになっている。

地形及び地質と崩壊発生との関係については、過去より研究が進められてきており、危険地区指定等に反映されてきている。このような結果をもとに、将来的には路網開設危険地等が行政サービスとして提供されれば、計画を策定する上で非常に効果の高いものとなる。ただし、現在のところは総合的な解析は進んでおらず、路網計画者並びに作設者の経験と知識にゆだねられているところである。

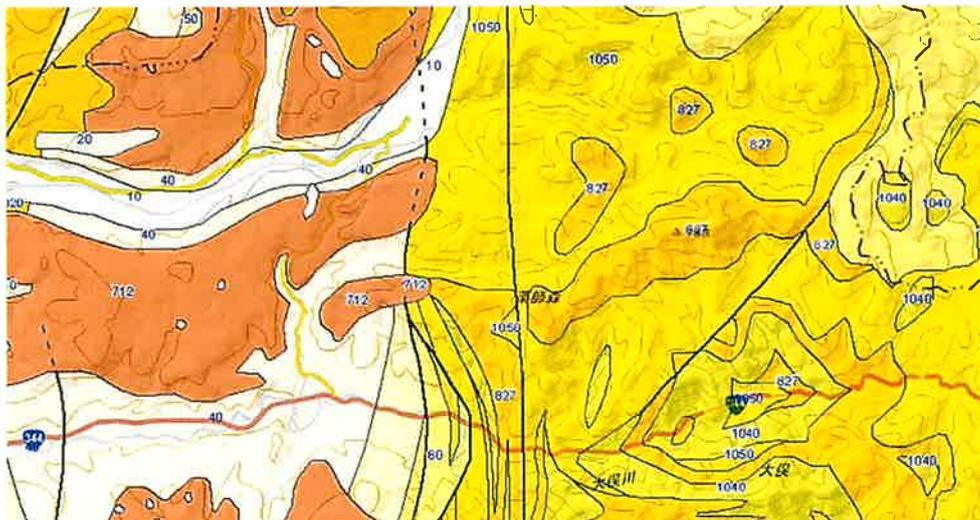


図 3-8 産業技術総合研究所シームレス地質地図

③林相

林相については森林調査簿に整理されており、森林調査簿上の小班単位での林相区分図は容易に作成できるようになってきた。ただし、実際には小班内でも一様の分布となっていない場合が多く、森林経営計画レベルでは更に詳細な林分情報が必要である。このような場合には、オルソフォトがある場合は

写真判読による林相区分が可能である。オルソフォトがない場合は、現地実測により林相区分図を作成する必要がある。次の図は GIS 上で小班を単位として林相を表現したものであるが、別のデータとしてメッシュごとのラスターデータも同時に作成し、その後のゾーニング時のベースデータとしても活用している。

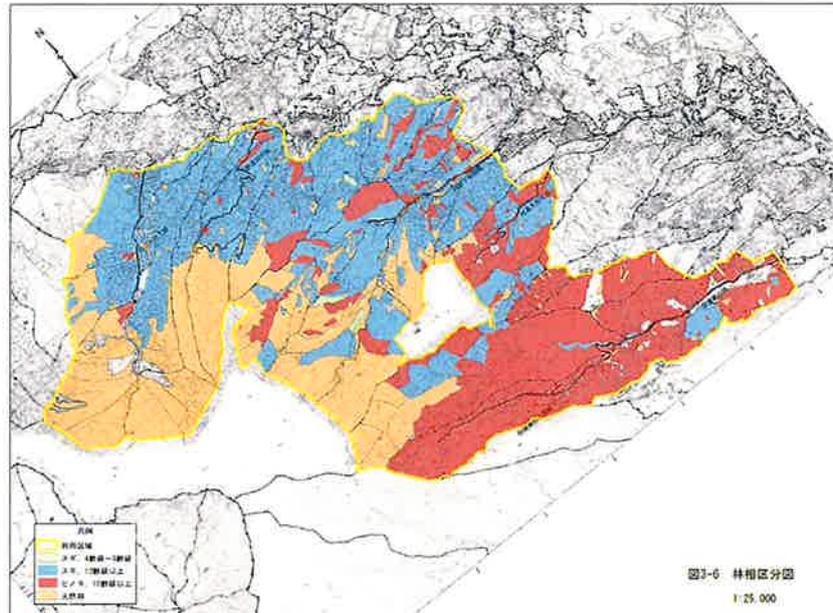


図 3-9 林相区分の一例

④現況林内路網

森林基本図等に既設路線が描かれている場合には、それらをトレースすることによりベクター化が可能である。このほかの山林作業道や作業経路については、空中写真判読若しくは GPS による測位により既設林内路網を把握する必要がある。得られた既設林内路網情報を基にして各路線からの到達距離を表現することにより路網空白域を図化することができる。

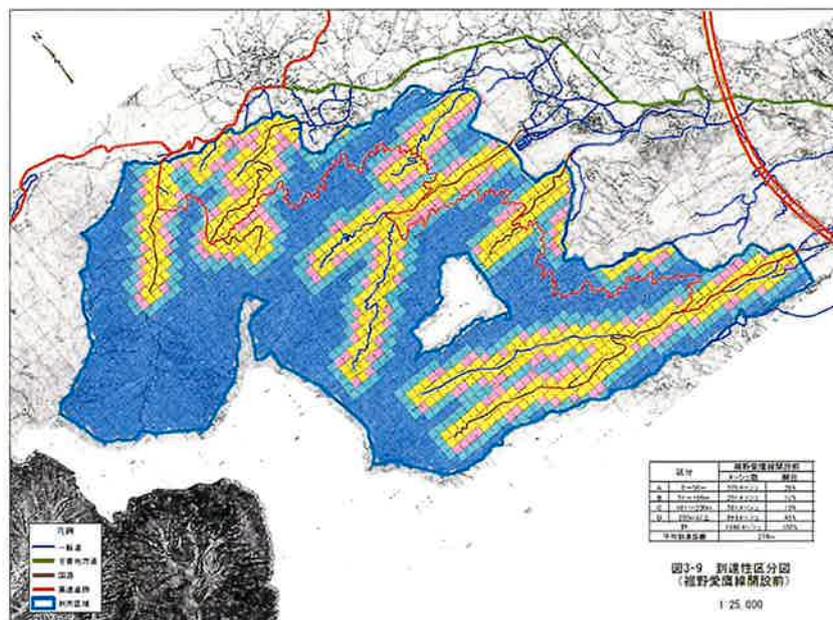


図 3-10 平均到達距離区分図

⑤法指定

保安林指定の有無や他所官の法指定状況によっては、伐採届の提出前に保安林内作業許可等の手続きが必要となる場合があるため、これらの法指定の範囲を図化しておくとともに、手続きについて確認しておく必要がある。特に土地所有者の関係から路網計画が困難な場合では、計画区対象区域外として明示しておくことにより無駄な作業を省くことができる。次の図は林相、法指定から対象外エリアを明示した一例であり、図中斜め線のエリアが路網計画対象外地区としている。

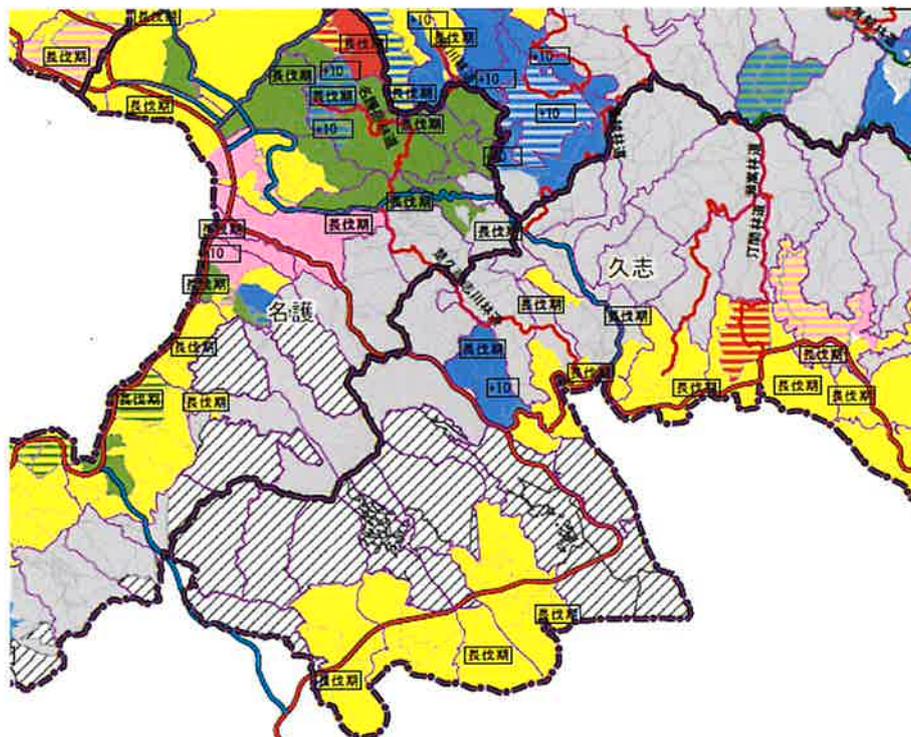


図 3-11 計画対象ゾーニング図

第3項 計画策定の流れ

図 3-12 に路網計画策定の流れの一例を示した。第1項では、森林法に基づく森林計画の体系を示したが、この他に民友林林道を計画する場合に作成する林道全体計画や都道府県が作成する路網計画がある。ここでは全体的な路網計画策定の流れについて整理した。

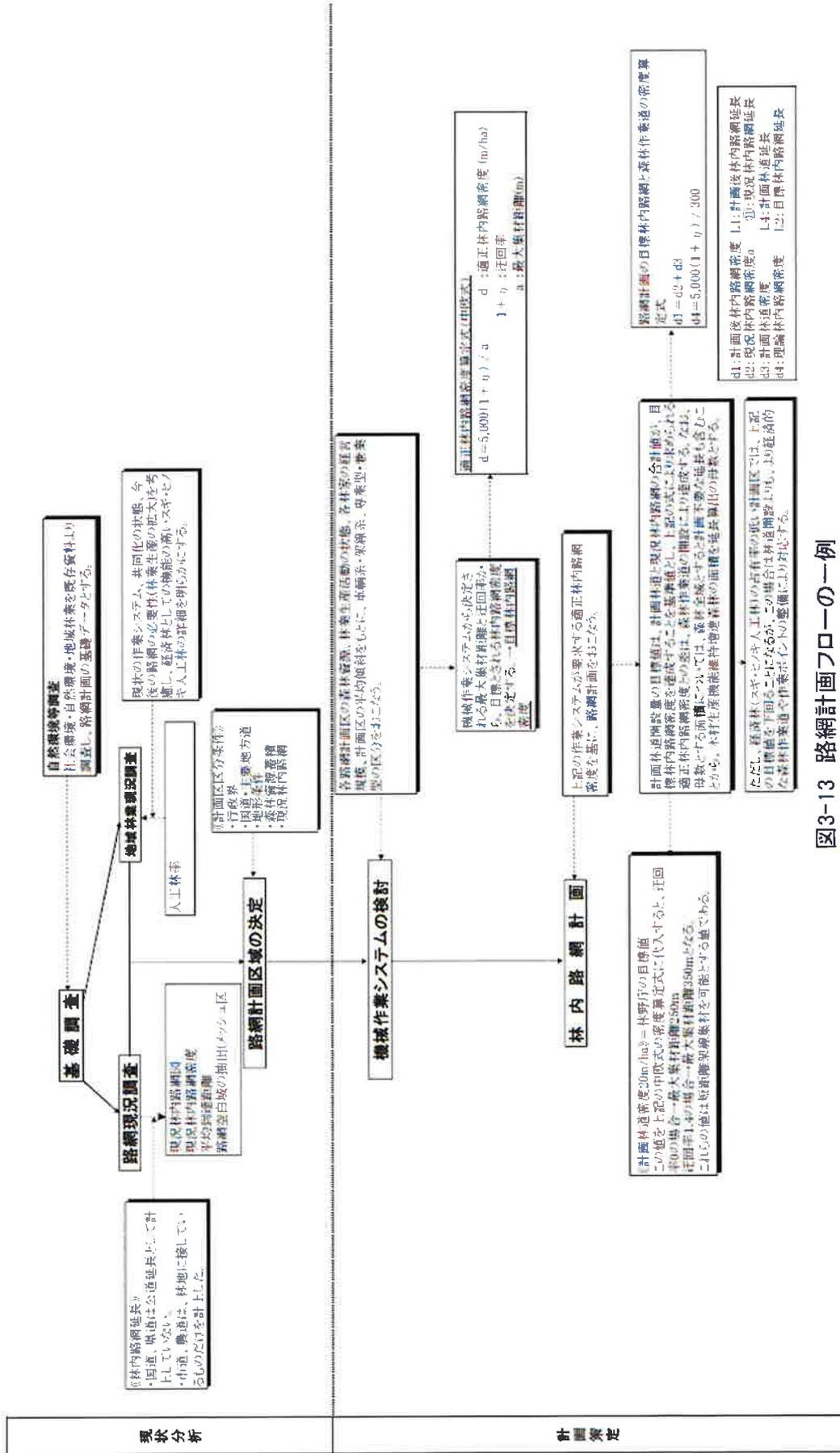


図3-13 路網計画フローの一例

①林内路網整備計画の作業内容

以下の5項目の作業を図3-13に示すプロセスに従って実施する。

1. 森林区分ごとの森林の状況と林内路網の把握（現況林内路網密度の算定）
2. 森林区分ごとの林内路網の機能の確認と評価（平均集材距離の算定）
3. 森林区分ごとの森林施業・管理に必要な林内路網システムの設定と林内路網密度の算定
4. 従来の林道網計画の見直しと林道計画
5. 林内路網整備の必要な箇所の把握

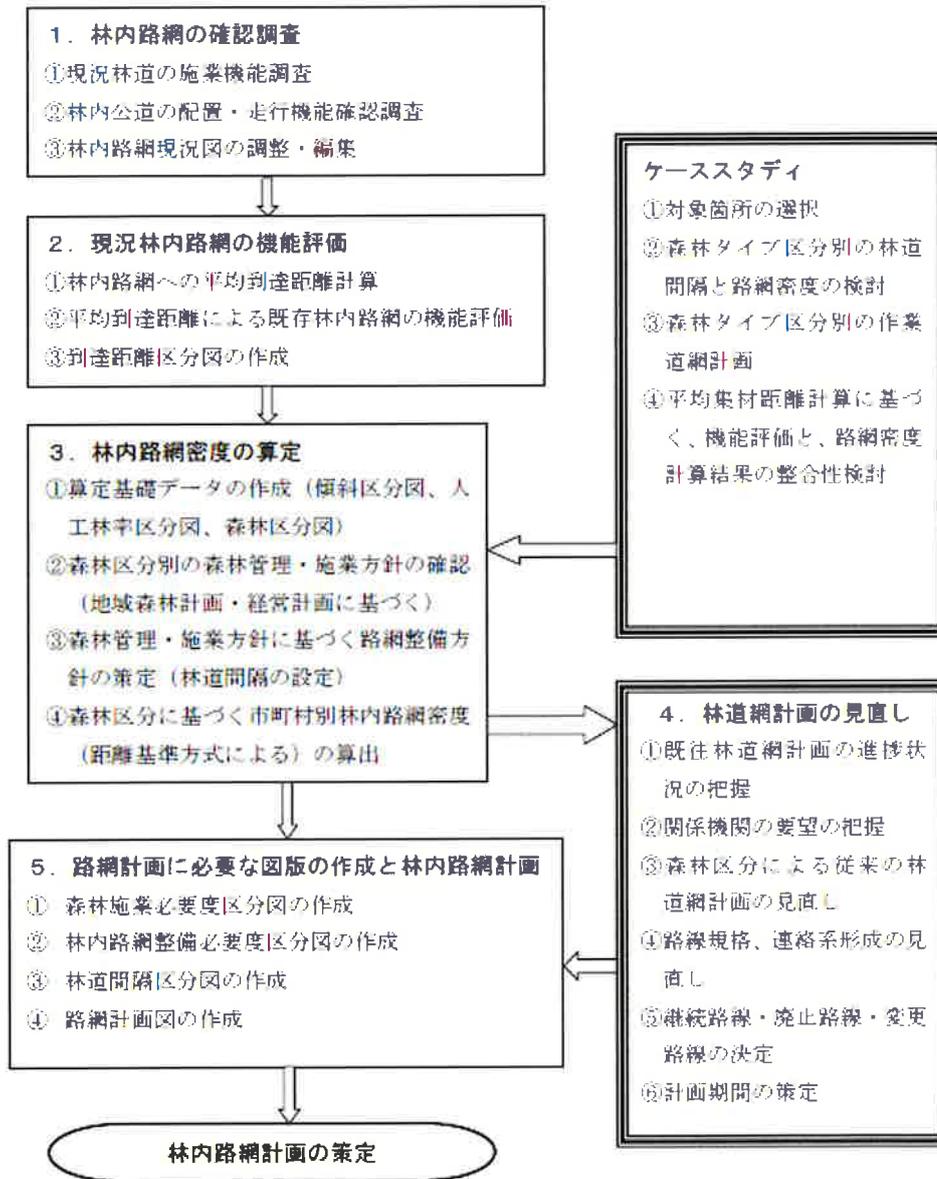


図 3-13 路網計画のプロセス

②路網計画に必要な図版と森林 GIS の利用

林内路網計画を実施するにあたって必要な図版、及び図版から算出されるデータの流れを図3-14に示す。計画作成にあたっては、森林計画情報と密接な関係を保ちつつ路網計画を進める必要があり、計画後も使用した基礎データ（現況路網の配置等）や中間産物の諸データを森林計画にフィードバックする必要がある。このため発注者の森林 GIS システムと互換のシステムであることが望ましい。なお、基

基礎図の作成レベルにおける各図版は、既存の資料、現地調査（林内路網調査は簡易 GPS による路線位置の測定によった）、森林 GIS の情報等に基づいて作成した。評価図レベルの各図版は、基礎図を調査計画用の GIS に取り込み、GIS の関数やオーバーレイ機能によって生成・作成する。

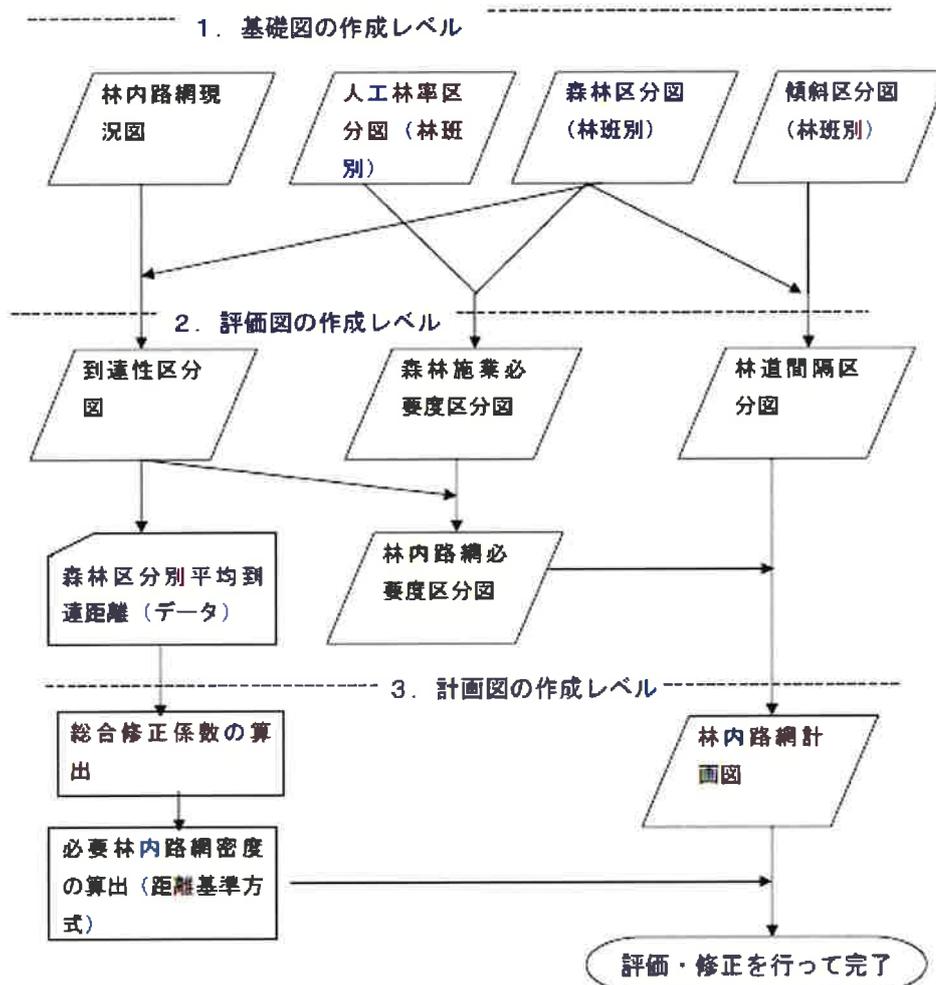


図 3-14 森林 GIS 上の作図プロセス

(1) 森林情報データ

森林 GIS 上の森林情報は、森林区分が林班単位に扱われていること、民有林では森林施業計画の単位を小班単位に扱っても面積が小さすぎて意味をなさないこと、小班単位に扱ると数十万ポリゴンという膨大な情報量になり各種の情報処理に膨大な時間を必要とすること、等の理由から、小班単位の諸データから林内路網計画に必要な要素（森林面積、人工林面積、森林区分コード、市町村コード、山腹傾斜）を抽出し、数値データは林班単位に平均化して、森林情報を圧縮したのポリゴンで扱うようにすると作業が容易である。利用する PC のスペックによってはビッグデータの処理も可能であるが、必要とする情報は上記の通りであることから、メッシュ区分したラスタに属性を持たせた方が処理が簡単である。

森林簿に記載された小班単位の情報林班単位にまとめてデータ化するにあたっては下記のように定式化し、これらの 6 つの属性情報からなるデータベースファイルと林班ポリゴンを基礎データとして GIS の論理演算処理を行う一例を示した。

1. 森林面積 : 小班の森林面積を合計する (A)

2. 人工林面積：小班の人工林面積を合計する (B)
3. 人工林率 : B/A
4. 森林区分 : 林班単位に設定された既存のコード番号
5. 市町村名 : 市町村コード
6. 山腹傾斜 : 50mメッシュのDEM から算定した傾斜角度を林班単位に平均する

(2) 林内路網データ

林内路網のデータは、林内公道、林道、作業道をライン要素としてベクトルデータ化する必要がある。これらの基礎データについては、発注者側で森林 GIS として整理している場合が多いが、森林作業道や農道については、全てが網羅されていない場合が多いことから、実際に現地調査を行い走行可能な車両の規格を判断した上でデータを整理することが望ましい。また、公道については、実際の施業に利用しやすいかどうかまで区分しておく、施業と直結した計画を作成しやすくなる。

ベクトルデータには各路線ごとに下記の 4 つ程度の属性情報が記載されていることが望ましい。

- ・路線番号
- ・路線種別 (林道、林業専用道、森林作業道、公道、農道・・・)
- ・管理主体 (県、市町村など)
- ・既設・計画の区分

表 3-4 は林内路網延長の整理の一例である。ここでは森林の機能区分ごとに現況延長を整理した一例を示した。

表 3-4 林内路網延長の整理の一例

道路区分	機能区分別延長 (単位: m)					計
	水 土 保 全 林	共 生 林	資 源 循 環 林	そ の 他		
	中 核 地 域	保 全 地 域		(森 林 外)		
森林面積 (ha)	24,990.6	185,517.3	58,462.6	73,914.8		342,885.3
林道延長 (m)	207,398	868,434	149,406	599,396	103,833	1,928,466
構成比 (%)	10.8	45.0	7.7	31.1	5.4	100.0
林道密度 (m/ha)	8.3	4.7	2.6	8.1		5.6
林内公道 (m)	16,747	657,060	149,285	484,940	704,933	2,012,965
構成比 (%)	0.8	32.6	7.4	24.1	35.0	100.0
林内路網延長 (m)	224,145	1,525,494	298,690	1,084,336	808,766	3,941,431
構成比 (%)	5.7	38.7	7.6	27.5	20.5	100.0
林内路網密度 (m/ha)	9.0	8.2	5.1	14.7		11.5

③ 森林情報データによる評価図の生成

林内路網計画は、計画量を算定する路網密度計画と路網の配置計画とからなる。前者は、林内路網現況図の定量的な分析結果と作業システムと林道間隔から算定される。路線の配置については「路網の必要なエリア」と「そのエリアにおける林道間隔」を示す必要がある。

計画策定にあたっては、図 3-14 に示したように、森林区分と人工林率区分によって森林施業の必要なエリアを抽出し、それに到達性区分図を組み合わせると林内路網の必要な箇所を抽出すると路網必要の判断がしやすい。林道間隔は森林区分と傾斜によって選択される作業システムによって決定されることから、森林区分図と傾斜区分図を組み合わせるとよい。

(1) 森林施業の必要性

表 3-5 は森林施業の必要性について森林機能別に示した 1 例である。この施業の必要性=林内路網の必要ということになる。

表 3-5 森林区分と人工林率による森林施業の必要度の一例

人工林率	水土保全林		共生林		資源循環林
	中核地域	保全地域	生態保存地域	ふれあい地域	
70%以上	B	A	B	A	A
50%以上	B	B	C	B	A
30%以上	C	B	D	B	B
30%未満	D	C	D	C	B

A：必要性が極めて高い

路網整備の方針：高密度路網の形成を図り、必要に応じて到達道路（森林管理道）を開設する

B：必要性が高い

路網整備の方針：既存の林内道路のネットワーク化を図り、必要に応じて到達道路（森林管理道）を開設する

C：必要性が低い

路網整備の方針：既存の林内道路の拡充を進め、新たな到達道路は開設しない

D：ほとんど必要としない

路網整備の方針：既存の林内道路の整備のみを行い、新たな林内道路は開設しない

(2) 森林機能区別生産システムと集材距離区分

林内路網計画を進めるに当たっては、森林機能別の森林経営・生産方式にあわせて、林内への到達手段とそれらに適合した林道間隔を設定する必要がある。これに地形条件を加味することにより、実際に運用可能な作業システムとの組み合わせが可能となる。森林施業・生産システムのモデルを設定して、森林区別の林内間隔を設定した一例である。作業システムについては、地域による差異が大きいことから、実際に現地における最大集材距離を考えた上で決定することとなる。

表 3-6 森林機能区別生産システムと林道間隔の一例

森林区分		傾斜区分	施業システム	路網形態	林道間隔 m
水土保全林	中核地域	15°以下	集材路+歩道	高密施業道網	600
		30°以下	モノレール+歩道	森林管理道	1,000
		30°以上	必要最小限の管理	必要最小限の森林管理道	2,000
	保全地域	15°以下	林内作業車	高密施業道網+作業路	300
		30°以下	タワーヤーダ	高密作業道網	600
		30°以上	在来型架線	森林管理道	1,000
共生林	生態保存地域	全域	必要最小限の管理	必要最小限の森林管理道	2,000
	ふれあい地域	15°以下	集材路+徒歩	高密施業道網	600
		30°以下	集材路+徒歩	〃	600
		30°以上	モノレール+徒歩	森林管理道	1,000
資源循環林		15°以下	林内作業車	高密施業道網+作業路	300
		30°以下	タワーヤーダ	高密施業道網	600
		30°以上	在来型架線	森林管理道	1,000

④ 林内路網図とバッファ関数による平均集材距離計算

(1) 平均集材距離計算の方法

林内路網計画を行う場合、現状の林内路網が計画区域の森林に対してどのように機能しているかとい

うことを定量的に把握する必要がある。一般的には、計画区域の森林から最近接道路までの集材距離を平均した平均集材距離を指標として扱う。GIS 上では、これをバッファ関数またはバッファリング（森林 GIS 入門：P15）といわれる機能を用いて算出する。

図 3-15 は、その算定モデルを示したもので、林内路網図の林内道路（図中は A 林道）から、路線を取り囲む等間隔の境界を次々に発生させ、そこへ計画区域（図 3-15 では林班としての）ポリゴンを被せると、P1,P2,P3・・・のような等間隔に並んだポリゴンが作られる。このポリゴン Pi に距離指標（たとえば 50m と 100m にまたがるポリゴンならば 75m）を与えて面積を算出し、計画区域内で距離指標（Li）と面積（Ai）の加重平均をとれば、その値が当該計画区域内の平均集材距離となる。

平均集材距離： $L = \frac{\sum L_i * A_i}{\sum A_i}$

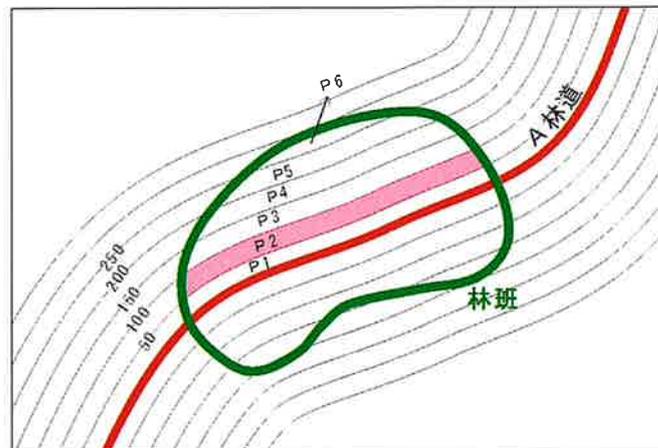


図 3-15 バッファ関数による平均集材距離計算概念図

バッファの発生間隔は利用する作業システムの最大集材距離を基準とするとよい。また、一つの計画区域内に複雑に交錯した林内道路網があり、それらから発生させたバッファが図 3-15 に示したような単純な構造にはならず、ポリゴンが複雑に絡み合ったような状態になることから、ラスタ化したメッシュデータに変換すると作業が容易である。

(2) バッファ関数による平均到達距離計算のもう一つの方法

バッファ関数による平均到達距離の算定にはもう一つの方法がある。森林計画の基本的な単位である林小班の重心からバッファを同心円状に発生させて最近接道路点 Ri をサーチし、それと重心 Pi の距離を算出して計画区域全体を平均する方法である。

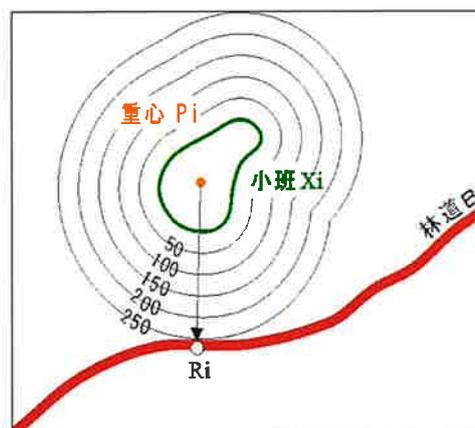


図 3-16 同心円状にバッファを発生させた場合の到達距離計算モデル

この方法を使う場合、最近接道路点をサーチした時点で、道路の属性と道路点の座標や標高差を小班のデータベースの中に取り込んでしまえば、小班単位に素材の生産費を算定したり、林道の利用区域を自動的に設定し投資効果計算や森林計画の細部計画に役立てたりすることができる。欠点は、広範囲の地域を対象にする場合には計算時間が膨大になることである。

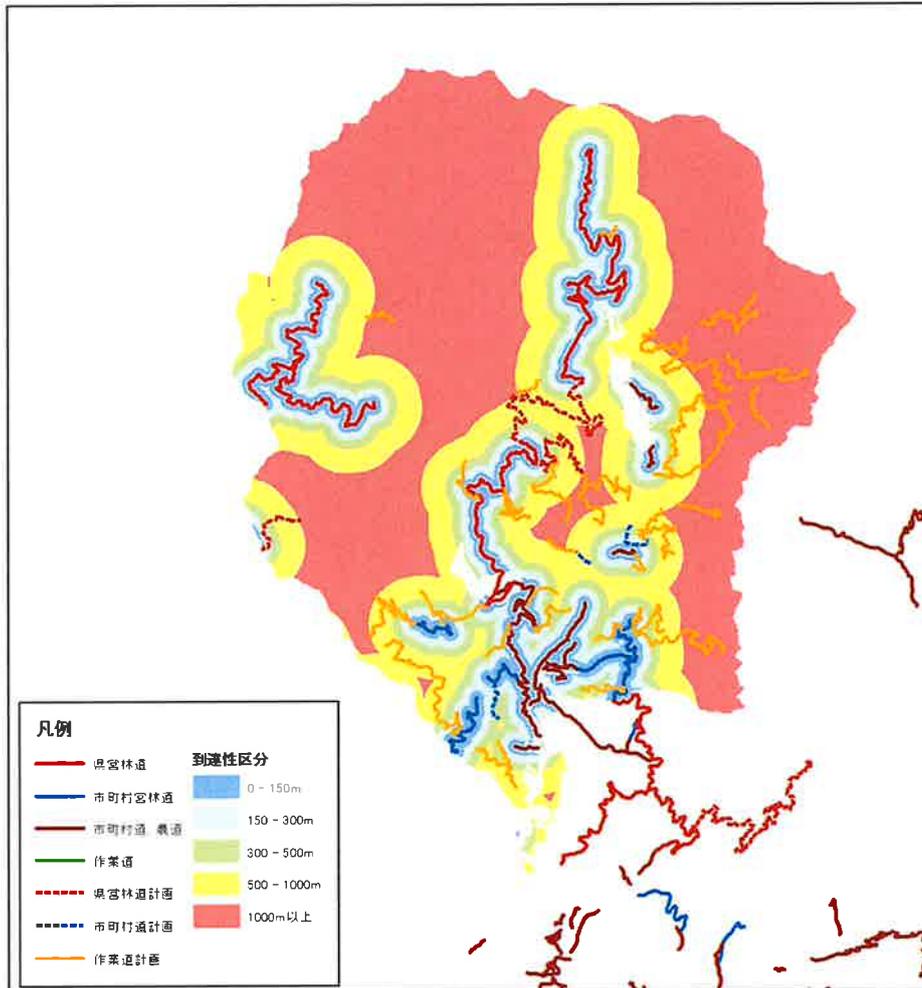


図 3-17 到達性区分の一例

⑤林内路網の必要性の検討

林内路網の必要性は、森林施業の必要度と路網の到達性によって決まる。すなわち、施業の必要性が高くても、すでに到達距離が短い林分では新たな路網整備は必要としないが、森林施業の必要度が低くても到達距離が長くなると施業体系に応じた路網を整備しなければ効率的な森林管理も施業もできない。表 3-7 は、そのような組み合わせによって路網整備の必要度を策定した一例である。

表 3-7 森林施業の必要度と路網到達性の組み合わせによる路網整備の必要度

到達性区分	森林施業必要度			
	A:非常に高い	B:高い	C:低い	D:ほとんど必要とせず
0 ~ 150 m	4	4	4	4
150 ~ 300 m	2	3	4	4
300 ~ 500 m	1	2	3	4
500 ~ 1000 m	1	1	3	4
1000 m 以上	1	1	2	4

- 1: 森林への到達性が劣っており林道の整備を含めて重点的に路網を整備する必要がある区域
- 2: 施業体系に応じた路網が不足しており、今後さらに路網を拡充する必要がある区域
- 3: 林内路網が十分に機能しておらず、必要に応じて林内道路を追加する区域
- 4: 施業の対象となる森林が少なく路網整備の必要性がほとんどない区域、または施業方針に応じた林内路網がすでに完備しており新たな路網整備は必要ない区域

⑥目標林内路網密度の設定

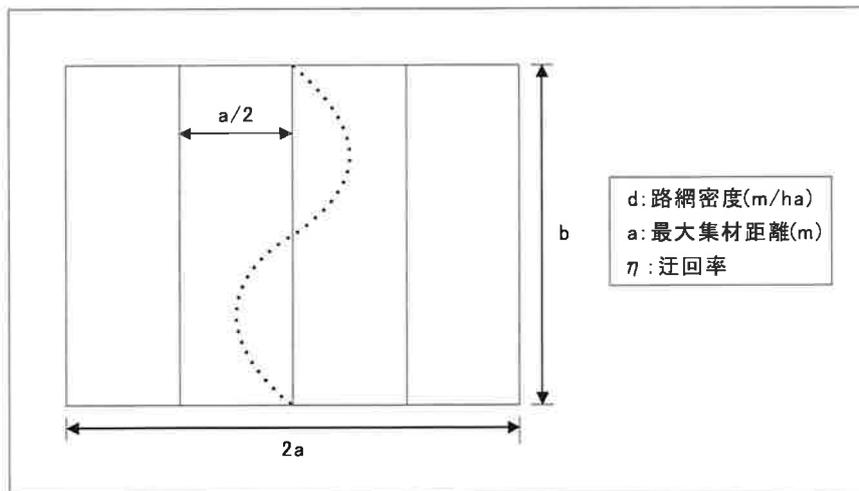
(1)距離基準方式による必要林内路網密度の算定

路網計画における最適路網密度の算定には、従来「コストミニマム理論」や「複合密度理論」が一般的に用いられてきた。これらの理論は集材費、林道開設費等から経済的林道密度を決定するもので、行政的観点から全国あるいは全県単位規模の算定に適用されているが、高性能林業機械作業システムを基礎に路網密度を検討する場合には、個々のシステムの特徴や地形条件等を考慮に入れた上で林地と林道の距離が合理的な関係となるよう計画できる「距離基準方式」を用いることが適当である。

この方式は適用する集材機械の最大適正集材距離 (=集材能力) から林道密度を算定する方法で、以下に示す矩形モデルによるのが一般的であるが、地形にのみに依存する迂回率 (1 + η) のかわりに既存の林内路網から算出した総合修正係数Knを乗じる場合もある。

距離基準方式による必要林内路網密度の算定式 (迂回率による)

$$d = \frac{10^4 \times b \times (1 + \eta)}{2 \times a \times b} = \frac{10^4 \times (1 + \eta)}{2 \times a}$$



(2)総合修正係数

平均実集材距離（平均到達距離） RE_t と平均集材距離（理論平均到達距離） RE_o の比（ K_n ）のことを総合修正係数という（小林：東大、林道配置システムの実用化に関する調査報告書 平成2年3月・林野庁 P.27）。

$$K_n = RE_t / RE_o$$

この値は、これまでの研究により、以下のような性質があることが明らかにされている。

- ・地形の困難さによって大きくなる
- ・道路密度が大きくなると少し大きくなる
- ・開設区域の大きさとともに大きくなり、地域の周囲の長さとの連結点の数が多くなると大きくなる

・開設区域の形状が悪くなると（縦横比が大きくなったりアメーバ状になったりすると）大きくなる
総合修正係数は、山岳林内の道路に対する地形的制約と（迂回率 η ）路線配置の偏在性を総合的に定量評価した係数であると言えるが、ある程度林内路網が整備された区域では、路網整備区域の特性係数（総合的な道路迂回率）と考えることもできる。これを逆数にすると森林整備区域に対する林内路網密度の機能度を表す数値となる。

(3)必要林内路網密度

計画路網密度の算定に使用した式： $D = 10^4 * K_n / 2a$

D ：目標林内路網密度

K_n ：総合修正係数（地形、傾斜、既存の林内路網の形態等によって決まる係数）

$2a$ ：林道間隔（ a ：最大集材距離）

計算に使用する諸係数

理論平均集材距離： $RE_o = 10^4 (1 + \eta) / 4d$ （ d は林内路網密度）

平均実集材距離（平均到達距離）： $RE_t = \sum RE_i / N$

注：平均到達距離は計画区域における任意の点から林内道路までの最近接距離（ RE_i ）の平均値をGIS上ではバッファ関数によって算出する。

総合修正係数： $K_n = RE_t / RE_o$

なお、以下のような条件の場合には、路網の偏在性よりも純粋に地形的制約の方が密度計画に強く作用するので、総合修正係数のかわりに地形区分別の迂回率を適用した（ $K_n = \eta$ ）。

1. 林内路網密度が10m/ha未満で総合修正係数（総合修正係数） K_n が1未満のとき
2. 林内公道への依存度が高い市町村で、総合修正係数 K_n が迂回率 η より小さいとき

参考文献

- (1) 小林洋司、森林基盤整備計画論、日本林道協会（1997）

第3節 急傾斜林地での森林基盤整備の測量設計

第1項 急傾斜林地における路網整備の考え方

(1) 急傾斜林地の定義

急傾斜林地の定義はないが、林道等の開設にあたって路体構造物としての安定性及び経済性・施工性等から考えると、図 3-18 に示すように土構造物を主体に路体が構築できる傾斜を限度とし、それ以上の傾斜地を急傾斜地として取り扱うとすると、傾斜35度以上の箇所が急傾斜地に該当することになる。急傾斜地で林道を開設しようとする切土のり面が長大化したり、擁壁等の構造物を設置するなど、森林施業にとっては使い勝手の悪い道路になってしまうことが多い。また、のり面の長大化や擁壁類の多寡は林道の幅員とも関係している。幅員が狭い道路であればのり面や構造物も小さくなるが、幅員が広い道路ほどのり面が長大化し大きな構造物が必要となる。

近年、次世代高性能林業機械といわれる作業システムの導入が進んできているが、これら林業機械は概して大型で自走式のものが多く、林道も機械の走行に耐えうる規格・構造が必要であり、とりわけ林業機械が円滑に作業するためには林道の幅員を十分に確保しておくことが重要である。

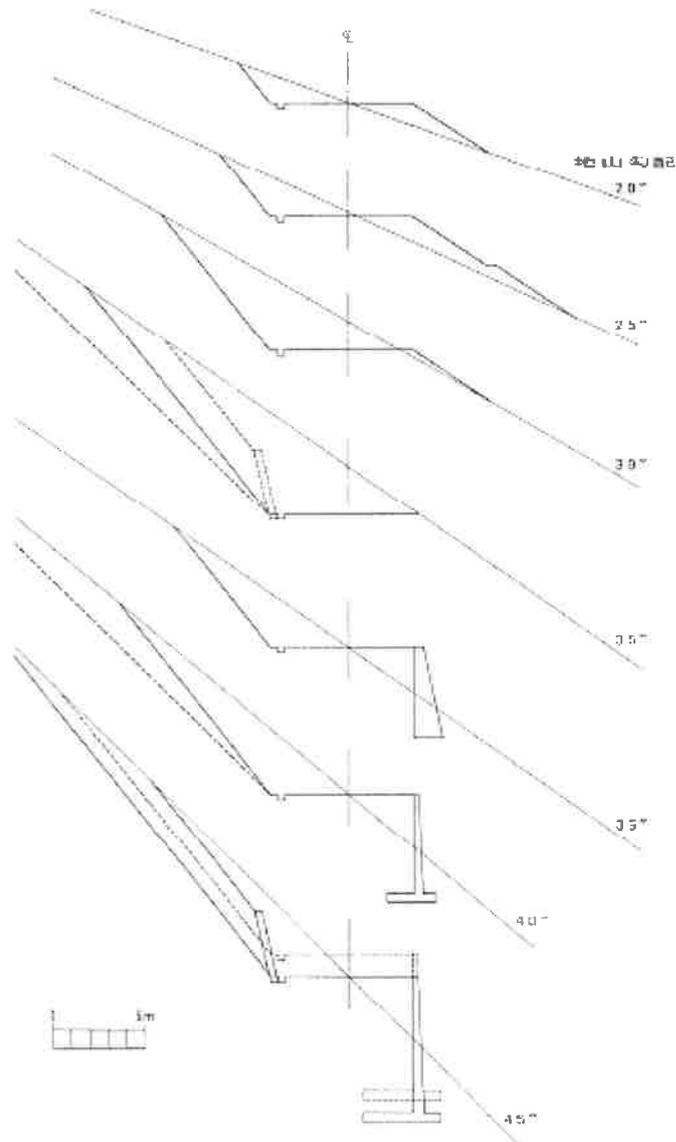


図 3-18 傾斜と路体構築の関係

(2) 急傾斜林地における作業システム

表 3-8 は、路網・作業システム検討委員会の最終報告で示された地形傾斜・作業システムに対応する路網整備水準の目安であり、表 3-9 は傾斜区分別の作業システムの例である。いま 35 度以上の傾斜を急傾斜林地として取り扱おうとすれば、高密度路網方式による車両系作業システムの導入は難しくなり、路網密度を低く抑えられる架線系の作業システムを主体とした森林施業により対応していくことになる。

実際には 35 度以上の急傾斜林地でも車両系の作業システムにより施業を行っている例も少なくないが、急傾斜林地に車両系システムを導入しようとする、路網密度が高くなって土工量や地形の改変量の増大を招き、森林・林地の安全性、道路施工や維持管理の難易性などの面からは好ましい状況とはいえない。また、タワーヤーダ等を用いた架線系作業システムの場合は、車両系作業システムと比べ路網密度を低く抑えることが出来るが、伐倒、集材、造材の作業が複数の機械の組み合わせにより行われ、その作業は路面上もしくは路側で行われることが多く、適切な間隔で作業ポイントや集積場を設けるとともに、これら導入される機械が円滑に作業できるだけの幅員の確保が必要になる。

表 3-8 地形傾斜・作業システムに対応する路網整備水準の目安

(単位：m/ha)

区分	作業システム	基幹路網			細部路網	路網密度
		林道	林業専用道	小計	森林作業道	
緩傾斜地 (0~15°)	車両系	15~20	20~30	35~50	65~200	100~250
中傾斜地 (15~30°)	車両系	15~20	10~20	25~40	50~160	75~200
	架線系				0~35	25~75
急傾斜地 (30~35°)	車両系	15~20	0~5	15~25	45~125	60~150
	架線系				0~25	15~50
急峻地 (35° ~)	架線系	5~15	—	5~15	—	5~15

表 3-9 作業システムの例

区分	作業システム	最大到達距離 (m)		作業システムの例			
		基幹路網から	細部路網から	伐採	木寄せ・集材	集積・運搬	運搬
緩傾斜地 (0~15°)	車両系	150~200	30~75	ローバスの	クレーン	ブローカ	ローバスの
中傾斜地 (15~30°)	車両系	200~300	40~100	ローバスの	クレーン	ブローカ	ローバスの
	架線系		100~300	チェーンソー	スイングヤーダ	ブローカ	ローバスの
急傾斜地 (30~35°)	車両系	300~500	50~125	チェーンソー	クレーン	ブローカ	ローバスの
	架線系		150~500	チェーンソー	スイングヤーダ	ブローカ	ローバスの
急峻地 (35° ~)	架線系	500~1500	500~1500	チェーンソー	スイングヤーダ	ブローカ	トラック

注：この表は、現在採用されている代表的な作業システムを、使用されている林業機械により現した。傾斜及び路網密度と関連づけたものである。林業機械の進歩・開発や社会経済的変化に応じて調整されるものである。

地域において、今後の路網整備や資本整備の方向を定めるに当たっては、地域における自然条件、社会経済的条件を踏まえた工夫や留意が求められる。

「クレーン」にはコンダクター・クレーンを含む。

(3) 急傾斜林地における路網整備の考え方

前述のとおり、急傾斜林地の作業システムとしては、基本的には架線系作業システムを主体に森林整備を進めていくことになると考えられるが、タワーヤード等の架線系の作業システムでは路網密度を低く抑えることが出来るが、車両系の作業システムに比べて導入する機械が大型化する傾向にあり、さらに架線系の作業システムでは、林道上や林道脇での作業が多くなりことから、これら作業システムが効率的に作業するための幅員を十分確保するとともに作業ポイント、施業ポイント等の設置が必要になってくる。

林道の幅員を広くして、作業ポイントを設置する箇所が多くなれば、切土・盛土等による地形の改変により森林・林地への影響も当然大きくなる。日本列島のように破碎帯が多く地形・地質構造が複雑なところでは道路の開設には最深の注意を払う必要がある。特に急傾斜林地における道路の開設では、必要最小限の林道で最も効果的な路網配置となるよう計画を立てて森林・林地へのインパクトを最小限に止めることが重要である。

林道の開設がもたらす森林環境へのインパクトには様々なものが考えられる。林地の掘削等による地形等の改変が自然環境（動植物、気象の変化、濁水の発生等）へ影響を与え、これらは一般にはマイナス効果とされているが、林道の開設による森林施業の推進、地域交通の改善、新たな森林区間の提供などの社会生活環境の改善はプラスの影響である。これらを定量的に表すことは難しいが、林道の建設時におけるマイナスのインパクトを概念的に示せば図 3-19 のようなものがある。

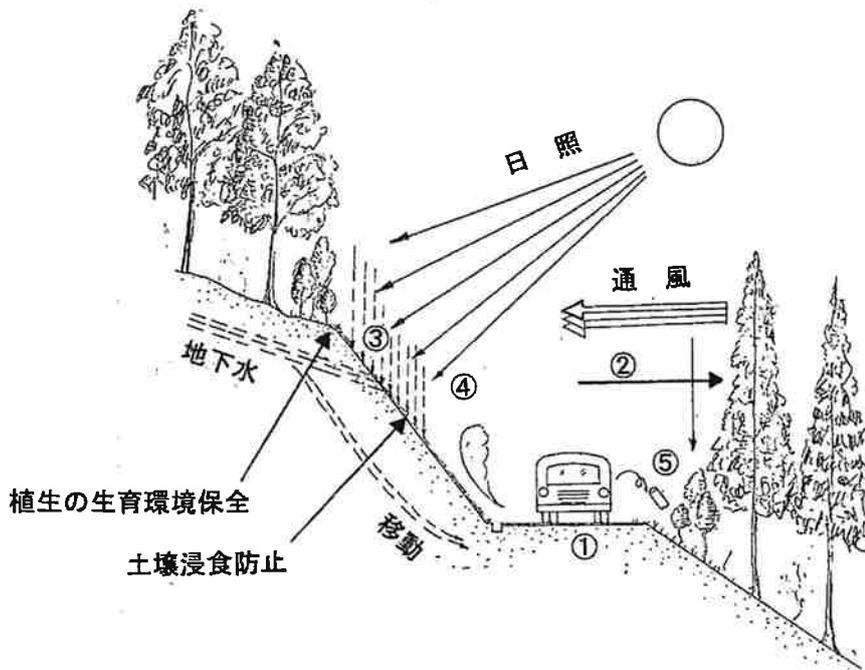


図 3-19 林道開設による森林・林地へのインパクト

日本はアジアモンスーン地帯にあり、高温多湿で台風や梅雨前線等に伴う豪雨等が発生しやすい。え、地質構造的には大陸プレートに向かって海洋プレートが沈み込む変動帯にあって多くの断層が発達し複雑で脆弱な地形を呈している。さらに地表面には火山噴出物が広く分布し地形・地質、土質の面からも路網整備にとって困難な条件下にある。

このような特徴を持つ森林に対して、高性能林業機械を導入し効率的な森林施業を実施していくためには、路網を開設する地域の地形・地質を精査し、導入する作業システムに応じた適切な幅員で必要最小限の路網配置により森林環境へのインパクトを出来る限り小さくするような路網を構築していかなければならない。路網整備を行っていく上での基本的な考え方を「道を利用する立場」と「道をつくる立

場」から整理すると次のようである。

【道を利用する立場から】

- ・ 林業経営にとって使い易い道をつくる
- ・ 壊れない道をつくる
- ・ 低コストの道をつくる
- ・ 維持管理の容易な道をつくる

【道をつくる立場から】

- ・ 地形・地質の安定した箇所を選んで道をつける
- ・ 切土・盛土が小さくなる位置を選定する
- ・ 流水等の少ない箇所を選定する
- ・ 地形に追従した線形とする
- ・ 森林環境へのインパクトを最小限に抑える

第2項 急傾斜林地での森林基盤整備の測量設計における留意事項

ここでは、高性能林業機械等の導入を前提とした急傾斜林地での林道の調査・測量・設計について述べる。急傾斜林地への路網開設の最たる課題は、森林・林地へのインパクトを如何に小さくするかであり、そのためには、路網を構築する現地の地形・地質等自然環境条件を十分調査し、適切な設計・施工を行って壊れない道づくりを行っていかなければならない。

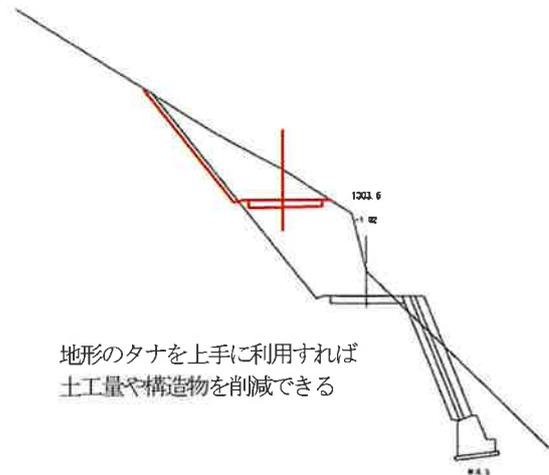
(1) 地形・地質の把握

日本は、前述したとおり断層が発達し破碎帯が多く複雑で脆弱な地質構造を呈している。このような箇所に道路を開設する場合は最深の注意をはらう必要がある。林道の開設が崩壊の要因になったり、旧い地すべりを誘発した事例も少なくない。現地の地形を的確に把握し地形の安定した位置に路線を選定する必要がある。地形・地質に関しては多くの書籍や文献等が出版されているので、ここでは林道の路線を選定する上で知っておくと役に立つ情報について示した。

① タナ地形

右図は、地形のタナを上手に利用した場合とそうでない場合の林道の設計である。地形の変化点を適切に利用することで構造物を無くして、さらに切取量も削減できている。特に急傾斜林地における林道の測量・設計では現地を十分調査し地形の変化に合致した設計を行うことが大事である。

図 3-20 はタナ地形を表したものである。タナ地形は、地殻変動や岩石の風化などで緩やかな地形がベルト上にできたもので比較的安定しており、地形図上では等高線の間隔が広いところが連続して見られる。このような地形の変化をうまく利用することで土工量を削減し森林環境へのインパクトが小さい路線を選定することができる。



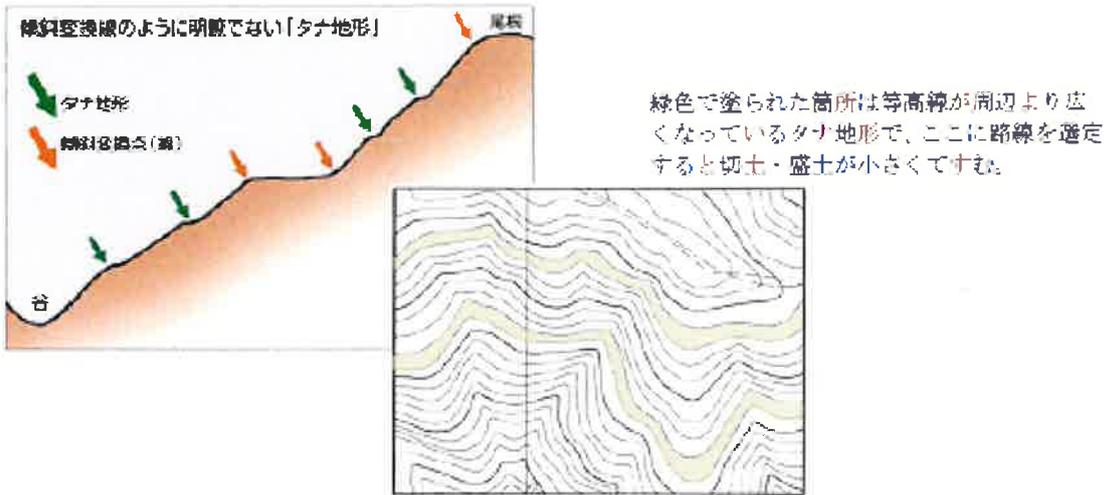


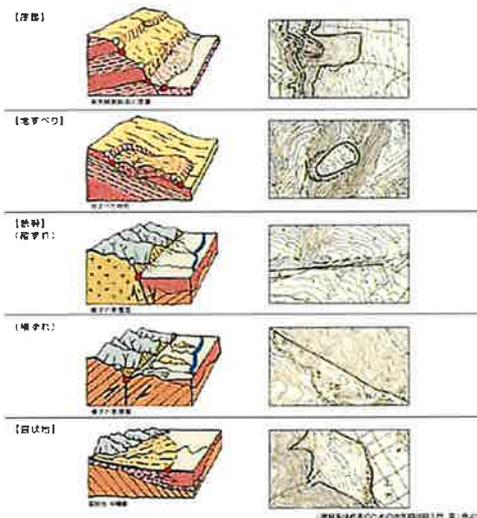
図 3-20 タナ地形の説明図

②回避すべき地形

また、タナ地形とは逆に路線選定上は避けなければならない地形がある。以下に示すような地形・地質の箇所は過去になんらかの変状を起こした箇所であり、林道を開設すると壊れる恐れがある。やむを得ず通過するような場合には十分な調査と対策工の検討が必要である。

【回避すべき地形】

- ・急傾斜面、崩壊地
- ・崖錐地形、地すべり地形
- ・断層・破碎帯
- ・地形の傾斜（流れ盤）
- ・扇状地・中積錐
- ・谷頭、湧水のある箇所
- ・岩盤、転石地帯

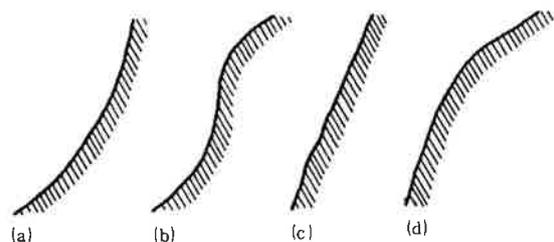


③斜面形状と崩壊発生

急傾斜地ほど崩壊の発生率が高くなるのは先にも述べたとおりであるが、崩壊の発生は斜面形状とも密接な関係がある。斜面形状と崩壊発生位置の関係については従来より多くの研究がなされてきた。

斜面横断面形状では谷型斜面に崩壊が発生しやすいとされている。また、斜面縦断面形状を(a)下降斜面（凹型斜面）、(b)複合斜面、(c)平衡斜面、(d)上昇斜面（凸型斜面）に分けると、一般に(a)、(b)に崩壊が最も多く、(c)がこれに次ぎ、(d)ではほとんど発生をみないとされている。また、縦・横断面形状と崩壊発生密度との関係を示したのが図 3-21 である。

この図から縦・横断とも凹型斜面で圧倒的に崩壊が多発していることがわかる。林道は線の構造物であることからこれらの危険箇所をすべて回避することはできないが、路線の選定に当たっては地形・地質



の状況を十分調査するとともに、起こりえる危険を想定して路線選定を行う必要がある。

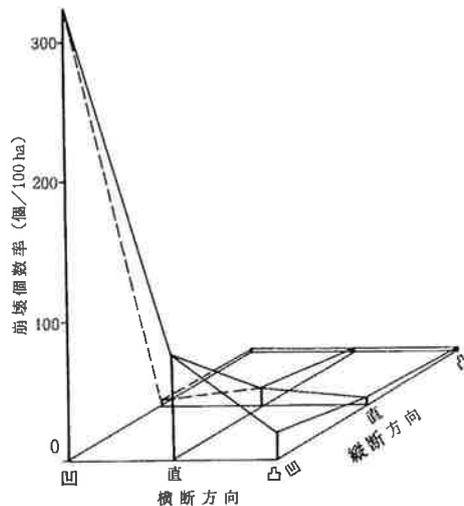


図 3-21 縦横断形状を崩壊発生密度

(2) (路線選定) ルートの選定

急傾斜林地に林道を計画する場合に最も重要なのがルートの選定である。施業地を出来るだけ広くカバーし、森林へのアクセス性が高い路線選定が求められる。さらに、高性能林業機械が効率的に作業しやすい路網配置と森林環境へのインパクトの少ないルートを選定しなければならない。林道の測量・設計を行う上で最も重要で難しい作業である。

図 3-22 は、地形図上におけるルート選定の一例を示したものである。ある地点 (A) から、上方の林道に向かって数本のルートが計画されている。赤色で示されたルートは時間的、距離的な短絡効果を期待して計画されたルートであるが、河川沿いに開設することになるので開析された急峻な斜面を通過するうえ、地形のヒダも多く切土のり面の長大化や土工量が増大し、地形の改変量や森林・林地に与えるインパクトが大きくなる。さらに、構造物等の設置箇所も増え開設費の増嵩が予想されるルートである。一方、緑や黄色で示したルートは、延長では赤色のルートに比べ 1.7~2.5 倍になるが、通過位置の地形が良好なため森林・林地の改変量は小さく、加えて、尾根筋のルートであることから溪流等を横断する箇所が少なく、1m 当たりの開設単価では赤いルートよりも格段に有利なルートになる。さらに、森林施業の面からみても林道を中心として尾根の両側をカバーすることが可能で、林業専用道や森林作業等の取り付けが容易な路網配置といえる。

また、青やピンクのルートは、用地等の制約、施業地の配置状況等によって沢の右岸を通過する必要がある場合に検討すべきルートである。(本来、林道のルートを選定するためには、施業地の配置、環境保全上の留意箇所及び事項、用地の条件などを地形図上にゾーニングした後、最適な路網配置を検討するのが一般的であるが、ここでは全域を施業地と見なしてルートを検討している。)

このように一つの流域に林道を計画しようとする様々なルートが考えられる。これらの中から、現地の地形・地質条件に適合し、地域の森林施業にとって最も有利な路線を選定することが重要である。従来の林道の測量・設計は、林道の本来の目的とする林業経営の面よりも、林道の持つ公益性や公共性の観点から走行性や輸送機能に重点が置かれてきた。したがって、ルートの選定も、距離的・時間的な短絡効果を期待して直線的で急勾配な線形をとる傾向が強くなり、森林管理や林業経営の面から見ると使いづらい道となっていた。さらに、直線的な線形は時には地形・地質条件を無視して力任せの工法で路体を構築するなど、開設費の増嵩と森林環境へのインパクトを増加させ、崩壊や地すべり誘発などの原因にもなってきた。

ルートの選定は、林道の測量・設計の中でも最も重要な作業であり林業経営の良否を左右するといっても過言ではない。林地の傾斜が急になればなるほどルートの選定が重要になってくる。林道のルート選定にあたっては、導入する作業システムを考慮しながら、現地踏査を繰り返し出来る限り地形・地質

条件の有利な位置を選定し、森林・林地へのインパクト量を最小限に抑えるよう心がける必要がある。



- ・尾根部を通過することで切・盛の小さい設計となっている。
- ・幅員は3.5mの林業専用道である

- ・ヘアピンカーブの設置箇所
- ・尾根を上手に利用して土工量の削減を図っている



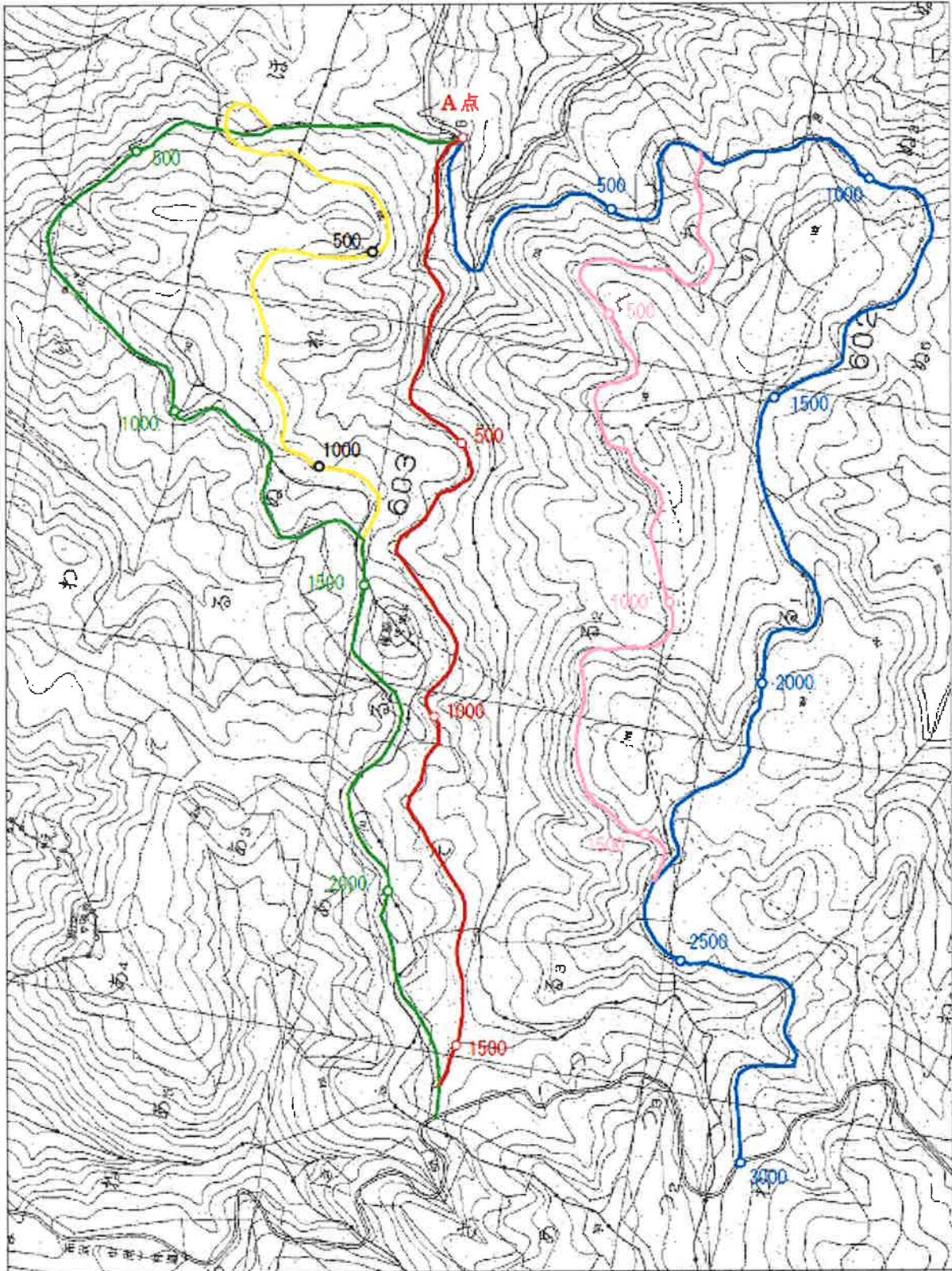


図 3-22 路線選定の検討図

(3) 路線計画

基本的なルートが決定すると、選定されたルートに基づき、IP 位置を決定し曲線（カーブ）設定するなど具体的な線形を検討する。これも林道の開設費や使い勝手の善し悪しを左右する重要な測量・設計作業の一つであり、地形条件を十分調査して行わなければならない。曲線半径の設定だけでも土工量に大きな差が生じる場合がある。出来るだけ地形に沿った線形計画を行うことが重要である。

図 3-23 は、地形のヒダが多く急峻な場所で設計された路線である。地形が複雑で所定の線形を確保するのに苦慮したことが窺える。IP を地形の凹凸に合わせて設置して折点に曲線を設定してはいるが、十分な IP 間距離が確保できなかったため、やむを得ず最小曲線半径の $R=12\text{m}$ を使用したものと思われる。この設計の中には次のような誤りがある。第一は、地形に追従した線形とすることだけにこだわり、平面線形の要素の組み合わせを全く考えないで路線を選定したことである。第二は、最小曲線半径である $R=12\text{m}$ を連続して使用していることである。本来、最小曲線半径の規程は地形の条件等やむを得ない場合に使用すべきものであって、この設計のようにむやみに多用するのは避けるべきである。第三は、曲線と曲線の間に適切な緩和区間を設けていないことである。ここにみられるような背向曲線の連続は走行性を確保するうえからも避けるべきである。この設計から出来上がった開設された林道は、平均の幅員が 6.25m （基準の幅員 $4.0\text{m} + R=12$ の拡幅量 2.25m ）にもなって、開設費の増嵩と森林・林地の改変量の増大を招いている。

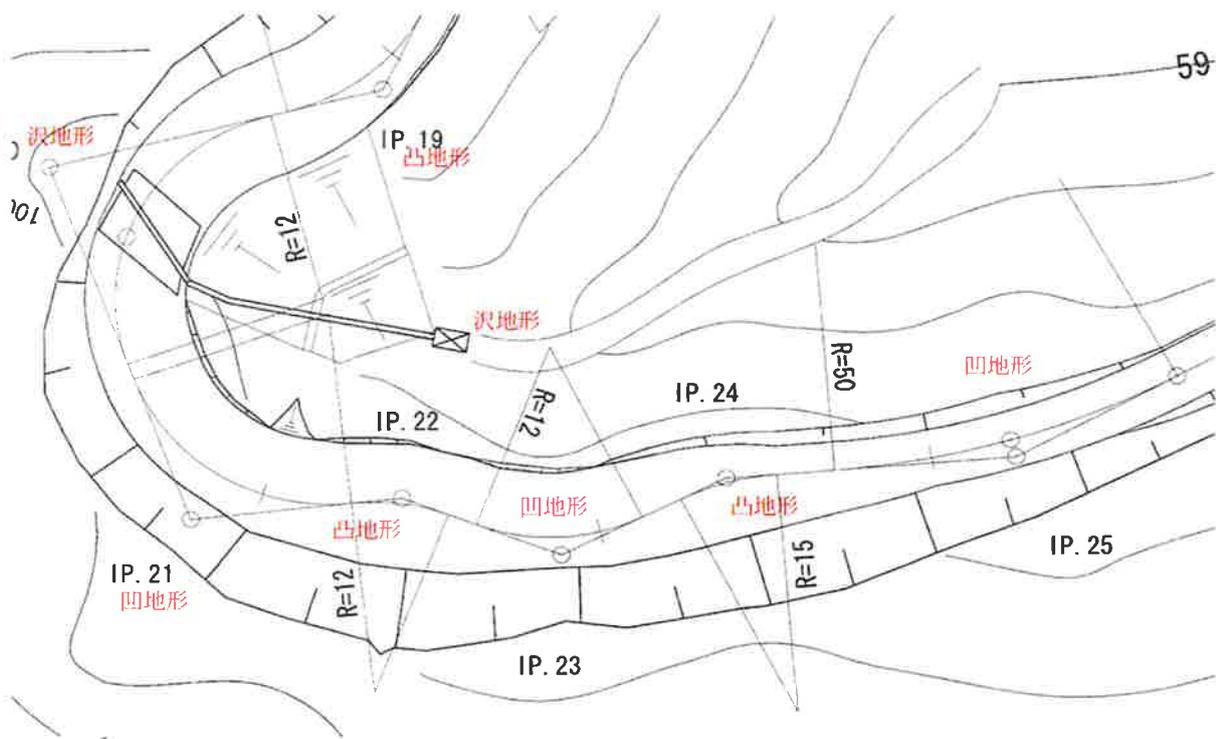


図 3-23 当初設計の路線線形と道路幅員

仮に、IP21 と IP25 を図 3-24 に示すように直線で結び、IP21 に $R=15\text{m}$ を設定して IP25 に $R=60\text{m}$ を設定すれば、道路の平面線形は赤色の線形となり、平面線形が改善されるだけでなく、幅員は当初の設計線の内側で全て確保される。変更された線形について測点 1040.0 の横断面形を比較すると図 3-25 のようであり、断面積は当初の半分以下になる。

このように、IP の選点や曲線半径の設置は、道路の線形を左右するばかりではなく、地形の改変量や開設コストにも影響する。また、長大な法面などは森林施業にとっての支障となりがねない。十分検討を重ねて現地の地形・地質的条件にあった線形計画を行うことが必要である。直接現地で路線形を決

定する林道の測量・設計では、現地の地形・地質を十分に把握するとともに、踏査・予測を繰り返して最適な線形を見いだすことが必要である。ここに示したような事例は経験を積んだ技術者でも少なからず経験したことがあると思う（このような極端な事例ではないにしても、S字カーブや背向曲線では起こりえるミスである。）。林道の線形計画では、現場の経験と技術が重要であるが、それだけでは不十分である。現地の地形・地質の状態を知り、路線に求められている機能を十分に理解して必要最小限の構造で道をつくる。そのために、林道の技術者には、日頃から現場をみる目を養い、実践で経験を積み重ねながら技術の研鑽に努めていくことが求められる。

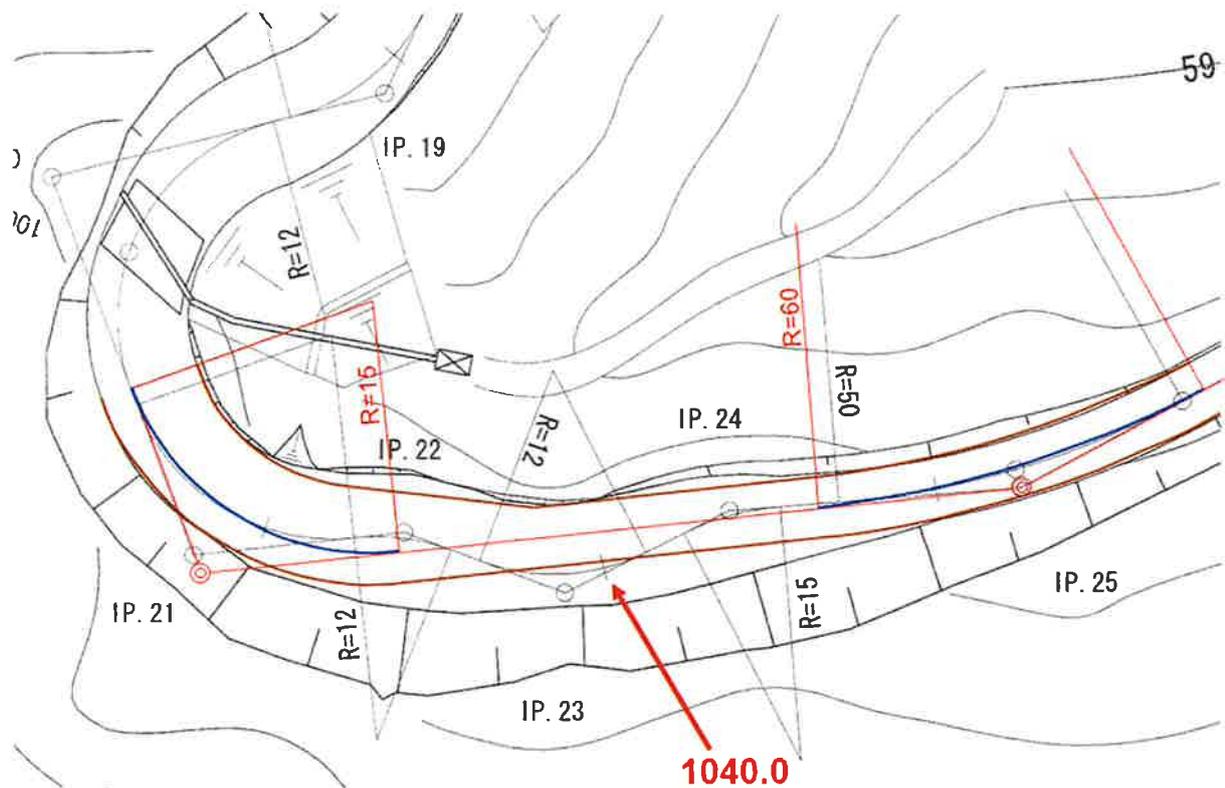


図 3-24 変更後の路線線形と道路幅員

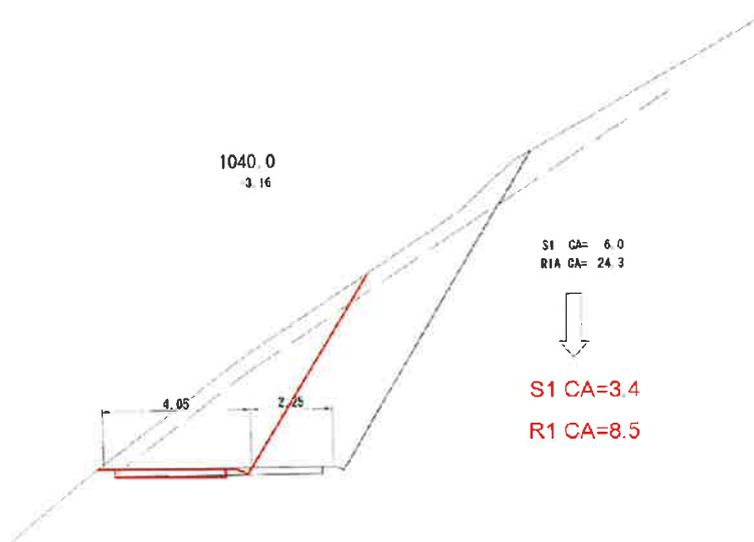


図 3-25 横断面形の比較

【 参 考 】

林道の線形計画（主として平面線形）において、所定の緩和区間長を確保するのに苦慮することがある。切土・盛土の土工量や構造物の多寡を気にしないで線形だけを確保するのであれば問題ないが、それでは開設コストの増嵩を招くうえ長大なのり面が出現するなど森林・林地へのアクセス性が低下する。山地の複雑な地形に追従した線形の最適解を求めていくことは重要である。

仮に、基準で示された緩和区間を確保しようとするれば、緩和区間長の 8.0m に加え、これに接続する一方の曲線の接線長 (TL) として 10.0~15.0m 程度が必要（カーブを車両が走行する場合、その走行性を確保する上で一定の曲線長が必要となるので、おのずと TL も一定の長さを確保する必要がある。）となり、IP 間の距離は少なくとも 30m 程度以上が必要となる。そうした場合に、日本のような急峻で複雑な地形の現場条件では適切な線形を設定できないこともある。

設計車両の通行に支障をきたすような線形を設定してはならないが、図 3-26 に示すような背向曲線などでは、緩和区間長を短くしても、前後の曲線の外側縁と内側縁を計算された接線で接続することによって、基準値以上（この例では 10.33m）の緩和区間を確保できる場合もある。ただし、この場合には緩和区間に接続する曲線長が短くなるので、注意しなければならない。

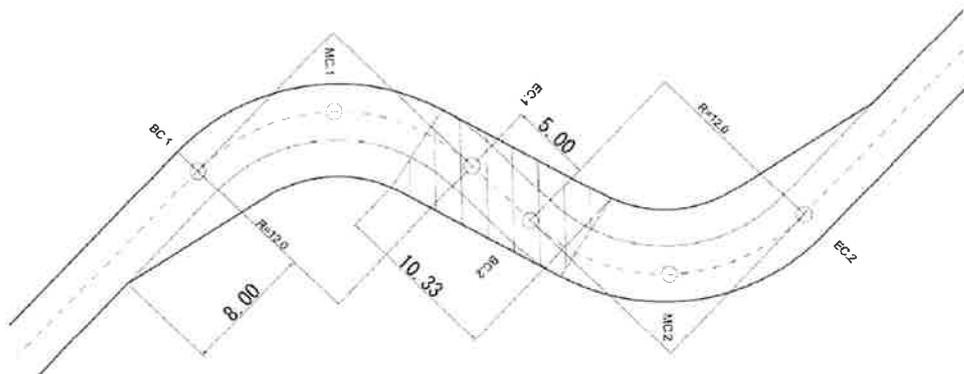


図 3-26 背向曲線の場合の緩和区間長の検討図

(4) 土工量と切土高

地形の改変による不安定要素のインパクトとしては、切土、盛土がある。一般に林道の設計では切土量と盛土量が均衡するように設計するが、盛土勾配を 1 割 5 分とすると、林地傾斜が 33.7 度を超えると盛土線と地山が交差しなくなる。すなわち盛土で路体の構築ができなくなり構造物等の併用により土工量のバランスを図っていく必要がある。ここでは、林道の作設による森林へのインパクトを定量的に把握するため、図 3-27 のモデルを用いて林地傾斜と切土量及び林地傾斜と切土高の関係を整理した。

その結果は、図 3-29 及び図 3-28 のとおりであり、切土量、切土高ともに林地傾斜が 30 度を超えると急激に増加する。切土のり勾配が 8 分の場合、林地傾斜 30 度の切土量が約 9.0m³ であるのに対して、35 度では約 13.0m³ と約 1.5 倍の土工量となる。さらに林地傾斜が 40 度になると切土量は 2 倍以上増加すること

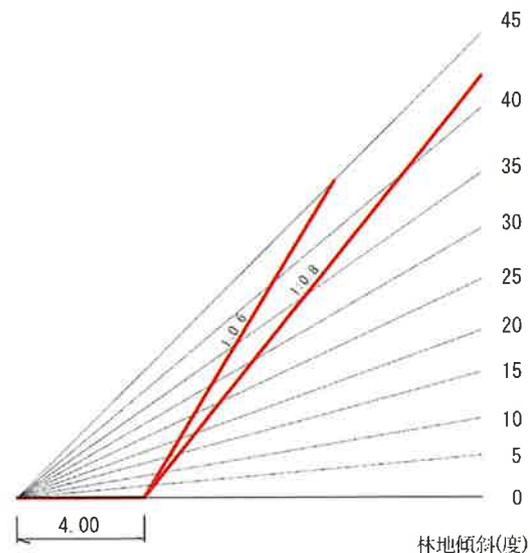


図 3-27 林地傾斜モデル

になる。また、切土のり高 10m を設計する上での一つの目安と考えると、林地傾斜が 40 度を超えるよ

うな斜面に林道を開設する場合には構造物等を併用しなければならないことがわかる。切土のり高は林道の優劣を評価する一つの項目である。切取のり面が低い林道では土砂等の崩落も少なく降雨等に対する被害も少ない。逆にのり面が高い林道では土砂の崩落が発生しやすいばかりでなく、崩落土砂等の除去や維持管理にも多くの経費を要する。さらに、のり面が長大化すれば森林施業や森林環境に対するマイナス面の影響が大きくなる。

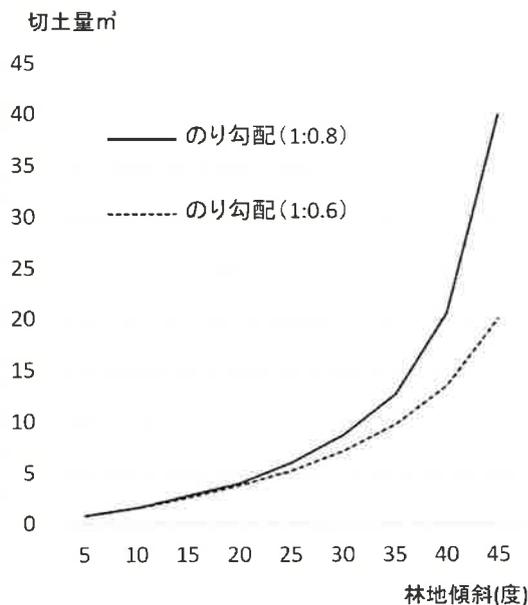


図 3-29 林地傾斜と切土量の関係

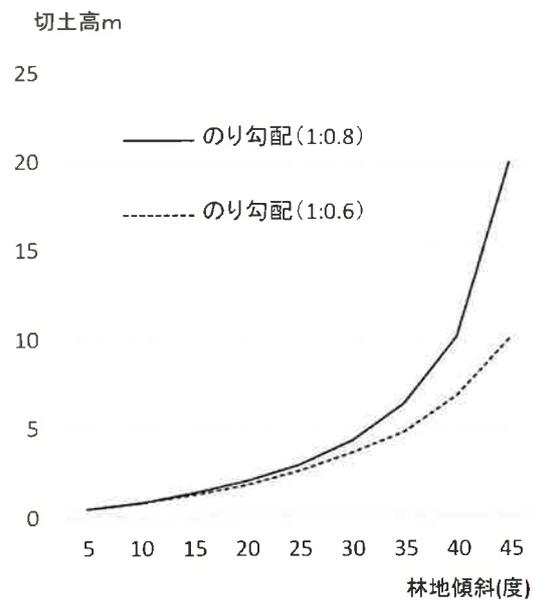


図 3-28 林地傾斜と切取のり高の関係

ここでは、30 度以下の緩斜面と、35 度以上の急傾斜地では林道等の作設方法がまったく異なってくることを認識する必要がある。30 度以下の緩斜面では土構造だけで路網を構築することが可能であるが、35 度以上の急傾斜地では構造等の併用なしに路網を構築することは不可能である。とはいえ構造物を多用し開設費が増嵩して林業経営そのものが立ちいかなくなってしまうては意味がない。急傾斜林地に路網を開設するには十分な調査と現地踏査を繰り返しながら、急傾斜林地の中でも地形・地質の安定した斜面の存在を見いだし必要最小限の構造物を設置して通過するような路線選定が求められる。

(5) 盛土高とのり勾配

図 3-30 は、地山に傾斜がある場合の盛土高についての概念図である。盛土を斜面上に施工する場合、盛土勾配を緩い勾配で施工するよりも急な勾配で施工したほうが盛土高を低く抑えることができるし、不安定な薄層盛土の解消にもつながる。盛土の高さが、盛土の安定を左右する大きな因子であることに着目すれば、ある限度以上の勾配を有する斜面について、盛土の勾配を急にすることができれば、盛土高を低く抑えられ、ひいては盛土の安定をもたらすことになる。一方、盛土ののり面の勾配が急になれば、急勾配に相当する分の崩壊力が生じ、これは不安定要因になる。したがって、これらの不安定要因と不安定要因が零になる斜面勾配を、盛土のり面の勾配別に見出せば、それより急な斜面における盛土はその高さが低下して、より安定側になると考えられる。このことは、盛土の標準値 1 割 5 分を、盛土高によってはさらに急勾配で施工した方が安定する可能性があることを示しており、土の粘着力や内部摩擦角など土質条件によっても左右されるので条件の整理も含めてこれからの検討課題である。

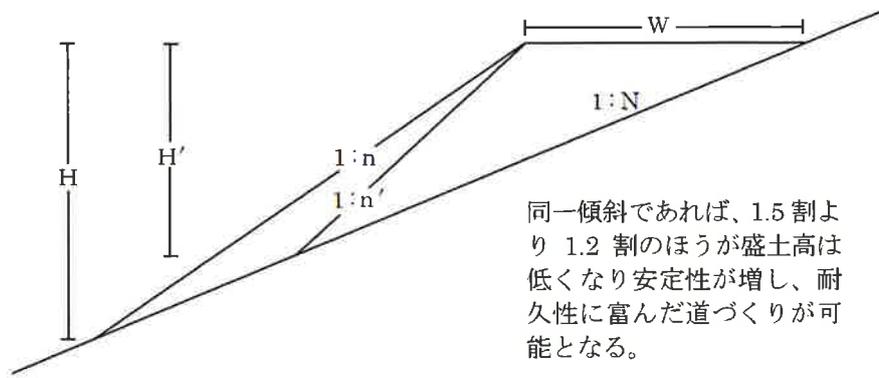


図 3-30 盛土高の概念図

第3項 今後の課題

高性能で大型の林業機械が導入されつつあり、大量生産や輸送能力の強化が求められるようになってくると、林道の耐荷性や耐久性が重要になってくる。路網は導入される作業システムが十分な機能を発揮できる規格・構造でなければならぬし、次世代高性能林業機械といわれるものは、大型で自走機能を有しており、とりわけ林道の幅員を十分確保することが必要である。急傾斜林地において森林の保全に留意しながら大型化する林業機械に対応した幅員をもつ路網を整備していくためには、ルートを選定や線形計画がますます重要になってくる。ここでは、これら路網整備に向けての今後の課題を整理しておく。

(1) PDCA サイクルの確立

林道を開設し利用するプロセスは、図 3-31 のような作業の積み重ねと繰り返しである。これらの各段階で目的を実現するために技術と資源が使われる。林道の測量・設計法は現場で、I.P や曲線半径を決めたり、構造物設置の有無を判断するいわゆる直接設計法で行われる。また、地形・地質などの自然環境条件は地域によって千差万別であり、道を作るための万能の法則はなく、現場経験の中から多くの経験と知識を得ることになる。これらの技術は、林道技術者の経験則として個々の技術者の中に蓄積されてはいたが、見える形の記録として残されてこなかった。林道技術者が沢山いた時代はそれで良かったが、林道の開設数が激減し林道に従事する技術者も年々少なくなっている現状では、これら経験や技術を継承していくことが路網整備を推進していく上で極めて重要な課題である。

そのためには、現場での事例から学んだ多くの知識と経験を蓄積し実践しながら、計画・設計から維持管理までのプロセスの中で PDCA サイクルを確立して、実行の管理と検証を行うことが重要である。そして確立した PDCA サイクルの普及定着を図りながら、さらなる技術水準の底上げ図っていかねばならない。

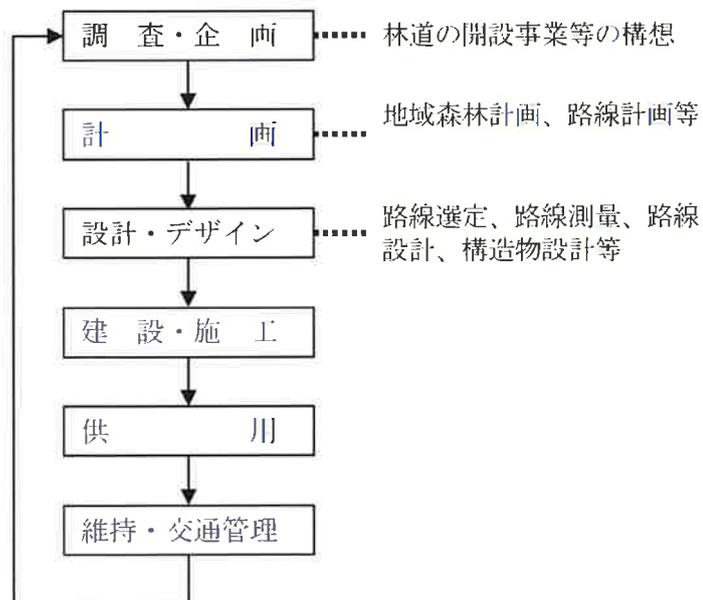


図 3-31 林道の開設と利用プロセス

(2) 新たな技術の導入 (GIS、DEM の活用)

従来、林道の計画・設計を行う場合は、1/5,000 の森林基本図に空中写真、既存の地形・地質の資料、現地調査で得られた情報を補足しながら路線計画やルート選定を行ってきた。近年、IT 技術の進歩により地形情報を数値化して取り扱う技術が進歩してきた。データ処理速度が向上し、空中及び地上波のレーザープロファイラによって解析精度も高くなり、数値地形モデル DEM も 1m という高い精度のものも出現してきている。また、GIS を利用した森林情報も一般的に利用されるようになり、併せて計測・解析費用の低価格化によりこれらの技術が利用しやすくなった。

林道の測量・設計は、これまで現地踏査を主体に行われてきたため、厳しい条件下で多くの労力を費やすことが多かった。その理由の一つは国・県道と違い林道の場合は幅員も狭く開発規模が小さいことから、地形のわずかな変化でさえ開設コストに直結し森林環境に与える影響も大きかったためである。これら微地形の変化を的確に捉えることが出来れば、効率的で効果的な路網配置を検討することが可能になり、林道の測量・設計においても IP の設置や測量・設計の作業の省力化や効率化が図れる。無論、現地との照合は必要であるにせよ今後これらの技術の導入について検討し積極的に導入することが求められている。

図 3-32 は、航空レーザー測量に基づく 1m 等高線の DEM データを使用した路線設計の一例であるが、盛土のステップや路面の横断勾配の設計など、かなり詳細なところまで表現されている。また、図 3-33 は、1m 間隔の測定データから起こした TIN モデルのうち中央部の植生データを除いて地表データだけを抽出したものであるが、2.0m 程の作業道の幅員や線形がはっきりとわかる。

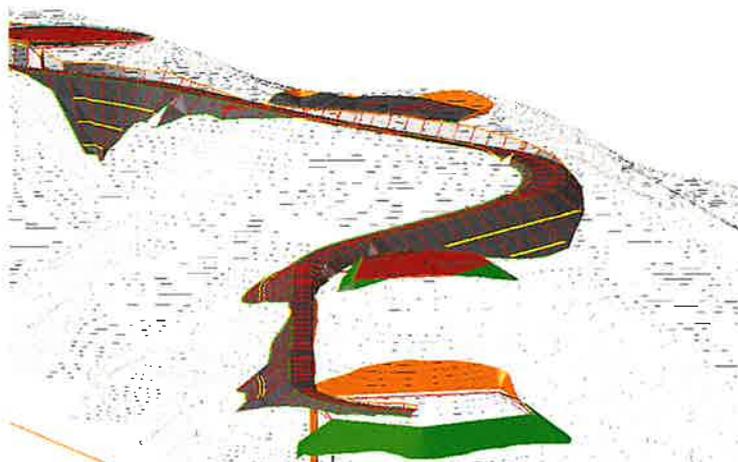


図 3-32 1mDEM による林道設計

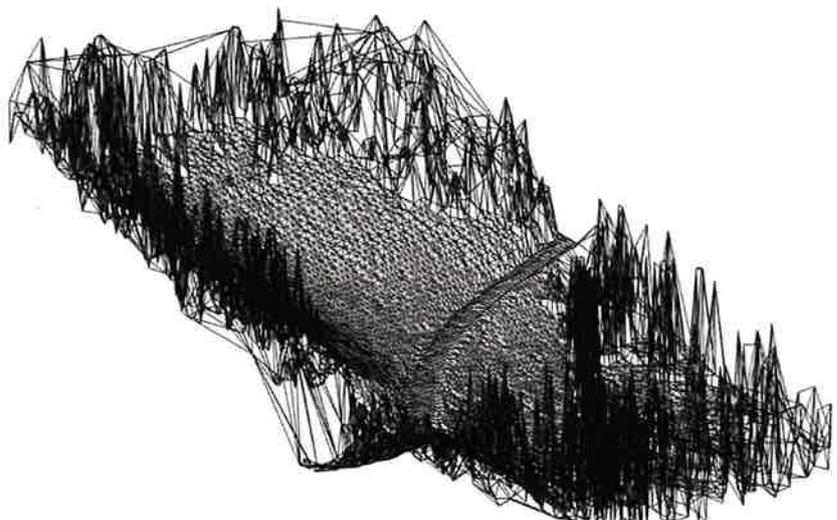


図 3-33 TIN モデルでの地形解析

(3) 人材の育成

急傾斜地に高能率作業システムを導入し持続的な林業経営を実現するためには、丈夫で開設コストのかからない路網整備を進めていくことが不可欠であり、そのためには、必要な技術・技能を備えた林道技術者の確保も重要な課題である。林道を作設する施工者、測量・設計に携わる技術者、監督員等の育成が欠かせない。急傾斜林地での路網作設は誰でもがすぐに出来るというものではない。路網の計画から施工まで高い技術が要求される。わが国の多くの林業地は、急傾斜地であり森林・林業再生の鍵は急傾斜林地の森林施業にあるといっても過言ではない。急傾斜林地に如何に路網を構築するか。年々減少する技術者の育成と研修体制の整備が急がれる。



図 3-34 路網計画の机上演習



図 3-35 路線選定の現地実習

参考文献

- (1) 酒井秀夫、作業道—理論と環境保全機能—、(社) 全国林業改良普及協会 (2004)
- (2) 斜面災害の予知と防災、(株) 白亜書房 (1986)
- (3) 小林洋司、次世代高性能林業機械と路網整備、機械化林業 NO.734 (2015)
- (4) 大橋慶三郎、道づくりのすべて、(社) 全国林業改良普及協会 (2001)
- (5) 林道規程—運用と解説—、(社) 日本林道協会 (2008)
- (6) 小林洋司(代)、森林土木学、(株) 朝倉書店 (2005)
- (7) 路網・作業システム検討委員会—最終とりまとめ— 林野庁

第4節 急傾斜林地における大面積皆伐

第1項 兵庫県朝来市

急傾斜林地を主とする林業地を探し、調査したところ次世代タワーヤーダを使用した作業システムによって事業している林業経営体として、日本土地山林(株)があった。早速、平成26年5月に本社を訪問し、本社の役員を通し、現地調査の手配を依頼した。

平成26年9月29日、兵庫県朝来市の日本土地山林(株)山林部を訪問した。土肥部長、榎岡次長が対応し、会社の状況、事業の状況等聞き取り調査した。その後と翌日に現地調査した。

1) 社有林の概要

山林は、兵庫県のほぼ中央部であり、但馬地方南部の朝来市に1846haの佐中・神子山林、北部の豊岡市に56ha、兵庫県内最大の山林所有者である。朝来市は、近年天空の城と呼ばれる竹田城に注目が集まり、多くの観光客が集まる。山林は、人工林率67%である。

地形は非常に急峻で全山の平均傾斜角は35度であり(図3-36)、路網配置が困難な林分が多く存在する。山林経営は、約100年前の明治時代に始まった。最盛期には年間10000m³を出材し、毎年50haの植林をしていた。その後休止期を過ごし、平成20年にプロセッサ、スイングヤーダ、フォワーダを導入し、直営での生産を再開した。

2) 搬出作業

此の搬出の考え方としては、既存の林道、作業道沿いの林分を中心に路網から約50m程度の距離までの搬出間伐を行った。いわゆる道端林業である。初年度は700m³でその後5000m³になっている。山林事業部は、技術職員3名、現場作業員5名で計画から現場まで実行している。

3) 路網の状況

路網作設は、昭和42年より直営林道工事を開始し、現在の路網延長は42km、内訳は公道6km、林道8km、作業道28kmとなっており、現在も緩傾斜地を中心に直営班による路網開設を行っている。また、佐中山林及び神子畑山林を繋ぐ形で県営森林基幹道開設工事が進行しており、数年後には二団地が林道によって結ばれる予定であり、利便性の向上や運搬コストの低減も期待できる。現在の路網密度は全山平均で22m/haである。路網開設用にザウルスロボ、2tダンプトラックによって、作業道の新設・補修に活用している。

4) 保有機械

現在、0.25m³クラスのベースマシンを中心に、プロセッサ一台・スイングヤーダ一台・グラップル三台・フォワーダ一台・大型トラックを所有している。そして今年度、新たに欧州製大型タワーヤーダを導入した。これまで使用してきたスイングヤーダでは、集材距離の関係上、施業可能範囲に限界があり、社有林全体に手入れが行き届かないことが想定された。

5) 施業計画について

また、森林経営計画策定に当たって、路網密度・傾斜等の条件が悪い林分からも中間土場で仕分ける。当社では基本的に原木を中間土場へ集積し、売先ごとに仕分けを行った上で出荷することで販売収入の増加を目指している。主な販売先は、合板工場・大規模製材工場・近隣の中小製材所・チップ工場などである。

6) 森林GISの利用

平成21年度に森林GISを導入し、森林管理に必要な基本情報の整備を行っている。まず、昭和40年代に実測量により作成した社有林基本図を始めとする紙ベースの図面をデジタル化し、幾何補正を行った。その他、国土地理院の基盤地図情報として5mメッシュ標高データ標高データから等高線を作成し地形図とした。5mメッシュ標高データは、航空レーザー測量によって得られたものであり、実測を伴わない従来の10mメッシュ標高データに比べ精度が向上しているため、そこから作成した地形図・傾斜区分図は、より現地の地形状況と合致している。

7) 現地調査結果

現地調査を実行、最初に林道作業道を調査した。地形が急峻なため、林道は盛土側の法止工ならびに切取りについても構造物が多く入る結果となっている（図 3-36 図 3-36～図 3-38）

次に、タワーヤーダによる間伐実行箇所を調査した。

タワーヤーダは、オーストリア製 コラー602 牽引型、搬器は コラー製 MSK-302 型(図 3-40)である。能力は、最大牽引力 3t、最大架設距離 800m あり、実際には 300～500m のスパンを利用している。購入から平成 25 年 12 月今までの稼働時間は 1000 時間、オペレータはオーストリア本国で研修を受けてきたが、索張り法について今後工夫が必要と考える。現場は、下荷集材箇所と上荷集材箇所を調査した(図 3-44)が、現地の話では上荷集材が効率的であるという。現地を観察した感じでは、横取り幅が 20～30m で、もう少し広く可能ではないかと思える。上荷集材のスパンは、350m であった。

参考文献：日本土地山林株式会社：環境と社会に配慮した森づくり、山林、2014.3



図 3-36 社有林の状況



図 3-37 林道の状況



図 3-38 県営林道



図 3-39 搬器



図 3-40 タワーヤーダ



図 3-41 オートチョッカー



図 3-42 ハーベスタ



図 3-43 上荷箇所



図 3-44 下げ荷箇所

第2項 和歌山県熊野市等

急傾斜地における長距離架線集材地(大面積皆伐地)において、特に高い生産性をあげている事業体について調査を実施した。

実施日 平成28年5月17日(火曜日)

調査地 ①調査地：三重県熊野市柳谷地内

②調査地：奈良県吉野郡上北山村西原地内
 以上の調査地とも株式会社山一木材の事業地である。

参加者 東京大学 名誉教授 小林 洋司
 東京大学大学院農学生命科学研究科 准教授 仁多見 俊夫
 名古屋大学大学院生命農学科 助教 近藤 稔
 (公社)とちぎ環境・みどり推進機構グリーンアドバイザー専門員 福田慎造
 (株)森林環境コンサルタント 代表取締役 壁村 秀水
 株式会社 森林テクニクス 業務部長 鎌滝 晋



図 3-45 調査地位置図

株式会社山一木材の会社概要

熊野材の生産（主に熊野川流域の和歌山、奈良、三重県にて立木を買付け伐採・搬出を行う）を主とし、山元、近隣の原木市場、及び当社の木材センターにて販売を行う。国産材小径木専門製材工場も併設している。年間扱ひ量は国産素材 50,000m³、製材品 7,000m³、社有林経営 1,500ha である。

出材班 40 名、伐採班 6 名、メカニック 2 名、造林班 10 名であり、プロセッサ 5 台、ハーベスタ 2 台、グラップル 3 台のほか、集材機を 25 台そろえている。

(1) ①調査地

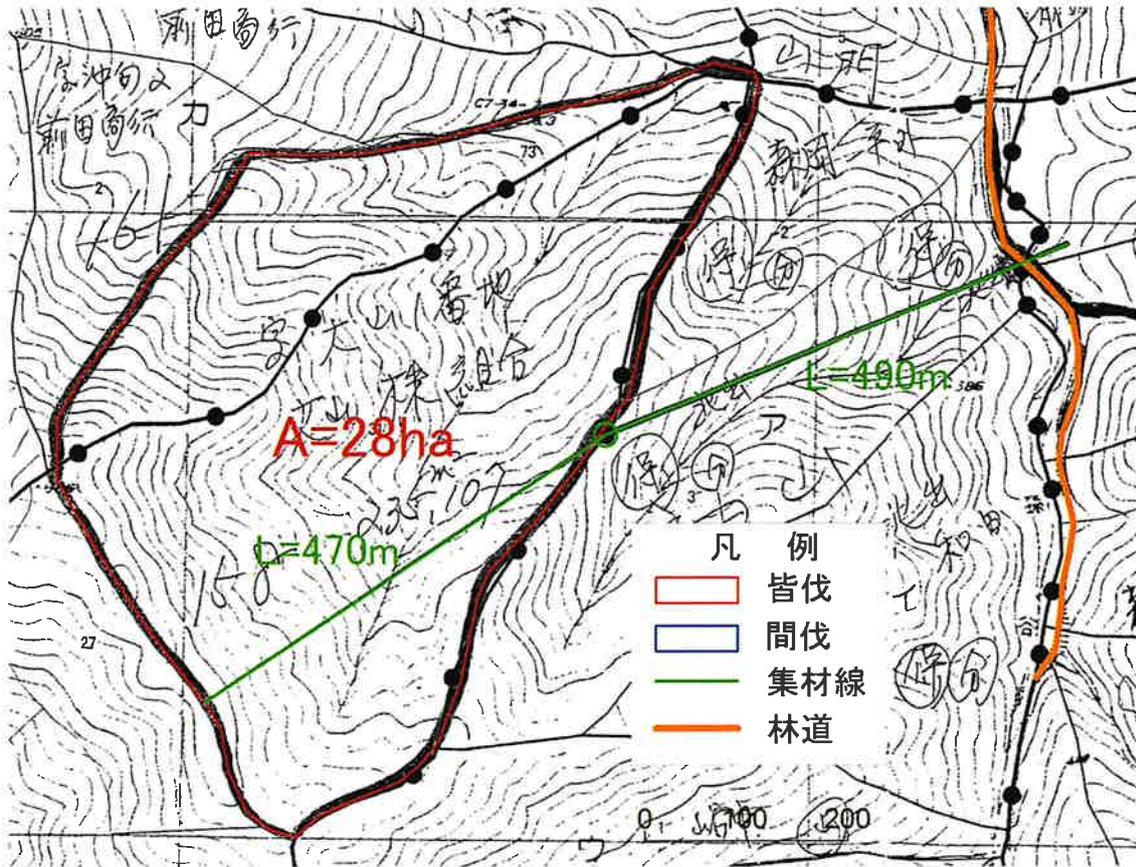


図 3-46 ①調査地位置図 三重県熊野市

三重県熊野市の事業地である。林道から見える範囲は皆伐が済んでいることから、稜線部に集材機を引きあげた上で2段集材を実施している事業である。図では現在の集材線は1本であるが、皆伐に進行にあわせて先柱を変えていくとのことである。既に伐採と集材を行っており、2段の索張りが完了するまでには約1ヶ月を要したとのことである。作業体制は5人から6人で行っており、上に3名、下に2～3名とのことである。2段あわせて水平距離で約950mの集材距離となっているが、現場までの通いは徒歩である。更に集材箇所が遠い場合は、モノレールを利用する現場もある。集材方法はエンドレスタイラーである。

山一木材では集材機を利用した大面積皆伐のため、ある程度の広さの事業地を必要としており、山林所有者に広く呼びかけ事業地を確保している。ただし、皆伐後の植栽も実施しており、ニホンジカの被害が多いことから、それへの対応に苦慮しているとのことである。地元では山賊集団ともいわれているとのことであるが、皆伐後の事業地を大切に扱い、持続的な施業の推進を目指している。

現在利用している集材機については、修理しながら利用しているとのことであり、現在の保有台数は25台である。電子デバイスを利用していない機械のため、日常の修理については手慣れたものであるとのことである。



図 3-47 ①調査地
集材箇所は尾根の裏側である。



図 3-48 二段集材のために運ばれた集材機



図 3-49 集材機と盤台の状況



図 3-50 集材機近景



図 3-51 ワイヤの取り回し状況



図 3-52 逆サイドより撮影。
遠方に事業地がみえる。

(2) ②調査地

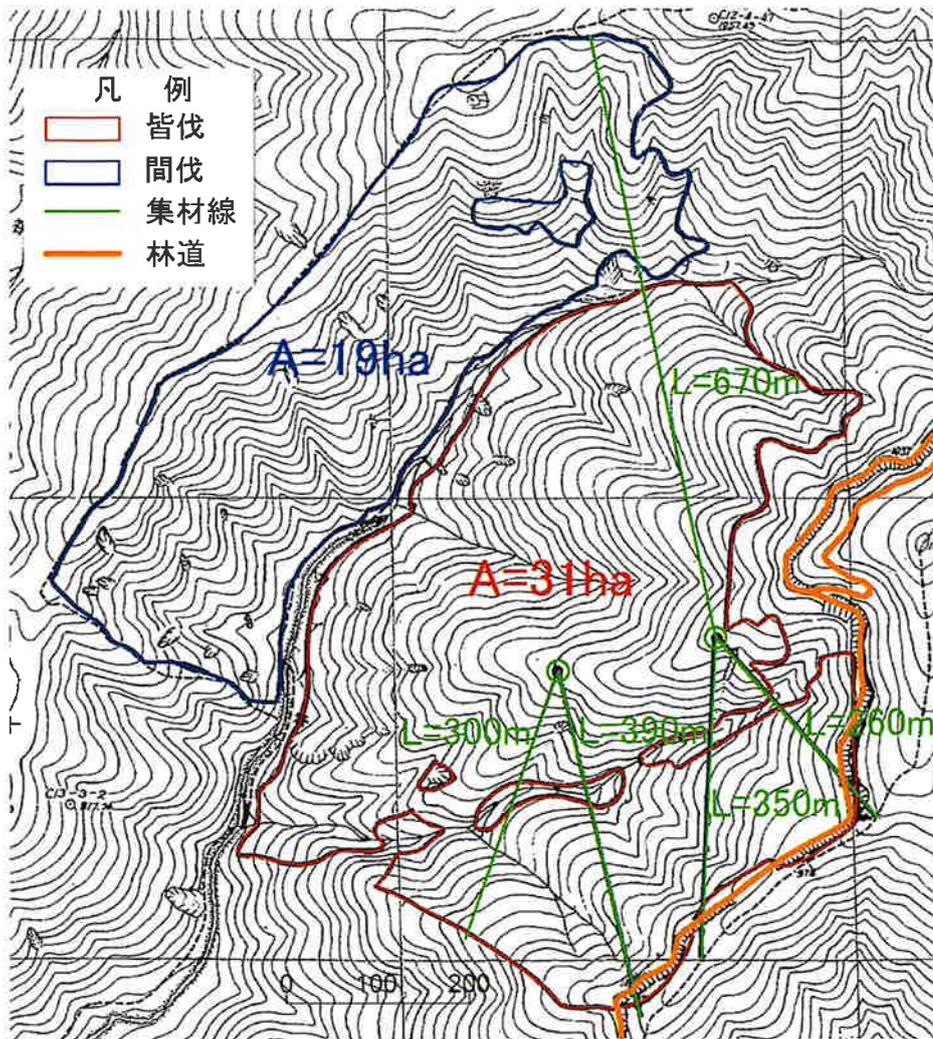


図 3-53 ②調査地位置図 奈良県上北山村

奈良県上北山村の事業地である。現在のところは手前の谷筋の集材を行っており、常時3台の集材機が稼働している。谷底までの高さは50m程度あり、荷掛け手と集材機操作手で連携して効率的な集材を行っている。谷部から引きあげた材は尾根部において、林道側に設置した集材機により積み替え、林道脇で造材している。この連携が悪いと、引き揚げた材の滑落が生じるため、不効率な集材となりやすい。このため1班の人員構成は固定式であり、常に班ごとで研さんを積みながら集材を行っている。作業班は新宮市から通勤しており、朝6時出発、8時作業開始15時30分作業終了である。

主索は22mmを使用しており、切れても問題の少ないような引き込み線は切れるまで使用するが、破断した場合に重大災害につながるような主索については、集材機のオペレータが常時監視しながら機械操作を行っている。集材機を利用した架線集材は経験を要する作業のため、ベテランの作業員も活躍しており、体が動けるうちは雇用するのが山一木材の社の方針である。この現場においても、80を越える作業員もおり、例えば集材機操作のような運転に経験を要する作業に従事している。

現在の搬出経費は運材も含めると9,000円/m³程度であり、このうち運材には2,500円/m³程度要しているとのことである。今回調査した事業地は奥山地であることから運材に経費を要しており、事業収入としては高いものではないとのことである。

寄与した材は林道脇でプロセッサにより造材しており、市場に出す大きさに切り分けている。近年は、韓国においてヒノキの腰板材が人気であることから、この現場でも韓国向けに2.5m材に玉切しているものもある。



図 3-54 ②調査地の状況



図 3-55 ②調査地の状況



図 3-56 集材機と盤台の状況



図 3-57 集材機近景



図 3-58 プロセッサによる造材の状況



図 3-59 林道の状況

(3) その他

・山一木材社有土場の状況

山一木材所有の土場の状況について確認した。土場へは10トン積みトラックに2列積みで各事業地から土場まで運びこんでいる。トレーラーは林道の規格の面から使用していない。土場において直接買受者に引き渡しを行っており、土場からの運び出しは買受者が直接行っている。



図 3-60 土場の状況



図 3-61 集積された丸太

・他社による木質バイオ生産現場

山一木材の①調査地近傍において、他社の木質バイオ生産現場においてヒアリングできたことから、その概要を記す。使用しているチップパーは Truck Hacker MEGA421TR である。処理能力は1時間に10トン程度である。加工したチップは松坂市まで運搬し、運搬距離は約100kmである。最大処理径は軟質木420mm、硬質木300mmであり、端材や枝条の処理には問題ないスペックである。自分達の事業地の他に、山一木材の様にチップングの機械を所有しない事業者からも原料を調達している。



図 3-62 システムの外観



図 3-63 チッパー近景

第3項 高知県大豊町及び香南市

急傾斜地における長距離架線集材地(大面積皆伐地)において、特に高い生産性をあげている事業者について調査を実施した。

実施日 平成29年6月1日(木)～2日(金)

調査地 調査地：①高知県長岡郡大豊町南大王地内(株式会社とされいほく事業地)

②高知県香南市撫川舞川団地(香美森林組合事業地)

参加者 東京大学 名誉教授 小林 洋司
東京大学大学院農学生命科学研究科 准教授 仁多見 俊夫
名古屋大学大学院生命農学科 助教 近藤 稔
元栃木県林業専門員 福田慎造
(株)森林環境コンサルタント 代表取締役 壁村 秀水
株式会社 森林テクニクス 業務部長 鎌滝 晋



図 3-64 調査地位置図

①高知県大豊町(株)とされいほく事業地

現地調査を実施した(株)とされいほくはH型架線集材を実施していることで有名であり、急傾斜地におけるシステムとして、本報告書第2章第3節で報告している。

現地調査は緩傾斜地における車両作業システム及び急傾斜地における集材機を利用した架線系作業システムを対象として実施した。

現地調査を行った事業地は大豊町南部に位置する南大王山団地であり、総面積 317ha、所有者数 67名である。(株)とされいほくでは、これらの団地を「高知県森の工場」として事業エリア内に7つの団地をもっている。事業地の多くは急傾斜地であることから架線集材をメインとしているが、車両系作業システムが可能な箇所では森林作業道を作設した車両系作業システムも導入するなど、現場に合わせた柔軟な対応を行っている。

職員構成:は役員 11名(非常勤、監査役含む)、総務課 2名、企画経営 2名、事業課 18名である。主な所有機械はプロセッサ・ハーベスタ 6台、スイングヤード 2台、グラップル 3台、フォワーダ 5台、集

材機 10 台、自走式搬機 4 台、多工程バケット付バックホウ 3 台である。年間の素材生産量は 25,000m³ 程度であり、比較的若手職員が多く、定着率も高くなっており、意欲的な経営を行っている事業体である。

(1) 車両系作業システム事業地

急傾斜地が多い事業地の中でも、ある程度まとまった緩傾斜地がある場合は森林作業道を作設して車両系作業システムにより伐採を行っている。森林作業道の作設はザウルスロボによって行っており、道路間隔は、それぞれ集材できる範囲としており、基本的に樹高を目安としたものとなっている。

フォワーダによる林道(若しくは幹線作業道)までの運搬距離は、500m を上限としている。それ以上の運搬距離となると効率が悪くなるとのことである。基幹作業道は 10 トン積みのトラックの走行を前提としており、全幅員は 4.0m である。

伐倒及び造材はハーベスタによる場合が多く、近年はウッデイー50 を活用して効率を上げている。



図 3-65 車両系作業システム事業地

(2) 架線系作業システム事業地

集材機を利用した長距離架線集材事業地である。事業地の伐採面積の内訳は間伐 1.37ha、皆伐 18.4ha である。集材線の長さは 690m となっており、主索の径は 24mm である。(株)とされいほくでは以前はタワーヤードによる集材も行っていたが、効率が悪いこと、仕事がきついことから、社員の要望でタワーヤードによる集材はやめたとのことである。

索張りはエンドレスタイラーであり、20m の高さの人工支柱を立てることにより索張りの高さを稼いでいる。H 型架線集材については、下方に道路、鉄道、送電線等の集材が困難となる人工構造物がある林地が多いため、実施できる事業地が限られている。

索張りの架設には 40 人工、先山の皆伐には 63 人工を要している。伐採方向は等高線方向としており、このやり方が最も効率よいとのことである。先山まで到達するのに沢を横断する必要があり、幹線作業道でこれを横断することは難しいことから、先山までは 20 分かけて徒歩で通っている。できるだけ先山までの歩行距離を短くして、労働強度を低減するように努力しているとのことである。

現場での作業においては、残存木にできるだけ傷をつけないように配慮している。皆伐後の再生林については、森林所有者の考え方の違いもあり、あまり積極的には行われておらず、遠い将来における木材生産について危機感を持っている。

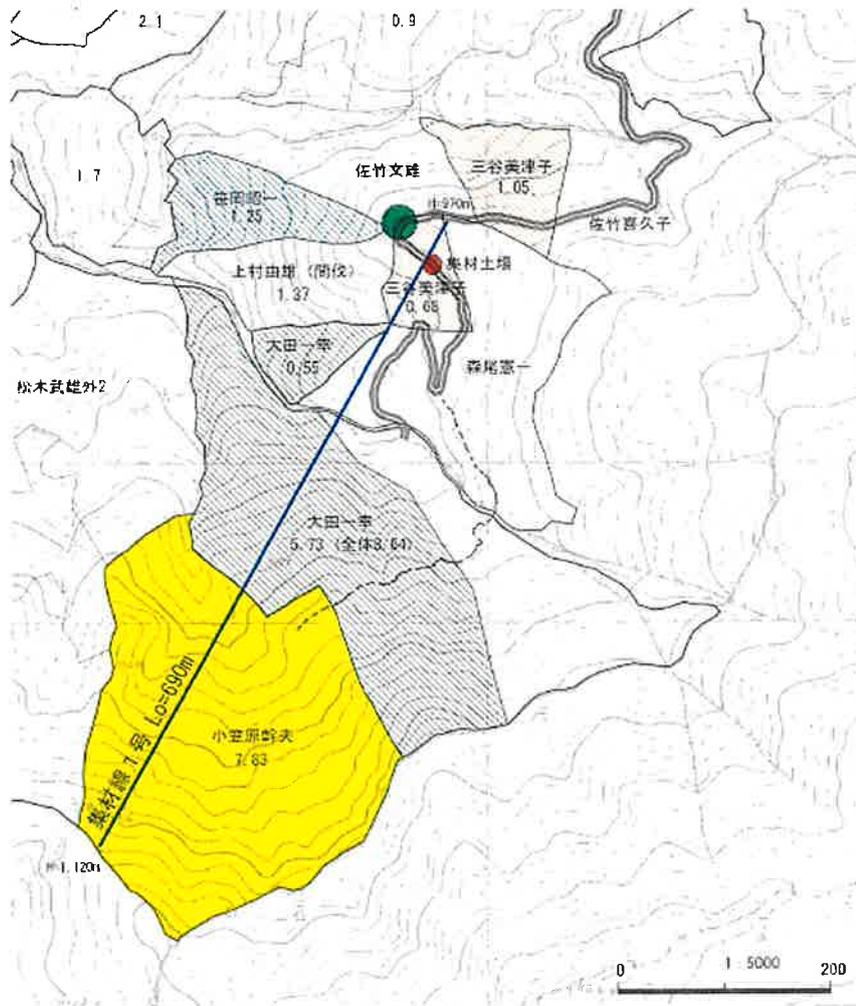


図 3-66 架線系作業システム事業地



図 3-67 集材機の状況



図 3-68 皆伐地の状況



図 3-69 ハーベスタによる枝条の処理



図 3-70 ハーベスタ遠景



図 3-71 中間支柱



図 3-72 つり下げの状況

②高知県香南市香美森林組合事業地

現地調査を実施した香美森林組合では平成 23 年 2 月に欧州製タワーヤード(マイヤーメルンホフ社製ワンダーファルケ U-2t)と自走式搬機(マイヤーメルンホフ社製シェルパ U-3t)を導入し、高能率な施業を実施している。

現地調査はこのシステムにより施業を行っている事業地を対象として実施した。

現地調査を行った事業地は香南市北部に位置する団地であり、総面積 245ha である。香美森林組合では、これらの団地を「高知県森の工場」として事業エリア内に 10 つの団地をもっている。(総面積 11,811ha)事業地の多くは急傾斜地であることから架線集材をメインとしているが、車両系作業システムが可能な箇所では森林作業道を作設した車両系作業システムも導入している。欧州製のタワーヤードを稼働させているほか、事業地にあわせてスイングヤードによる集材も実施しており、現地に合わせた柔軟な対応をおこなっている。

職員構成:は役員 15 名(非常勤、監査役含む)、職員 12 名、嘱託・臨時職員 3 名である。主な所有機械はプロセッサ・ハーベスタ 8 台、タワーヤード 1 台、スイングヤード 6 台、グラップル 1 台、集材機 2 台、自走式搬機 2 台である。運材はトラック運材を主たるものとしており、作設する森林作業道もトラ

ックの走行を前提としたものである。平成 27 年度には繁藤ストックヤードに 14,970m³ 出荷し、以後は、年間 16,000m³ 出荷予定の計画である。

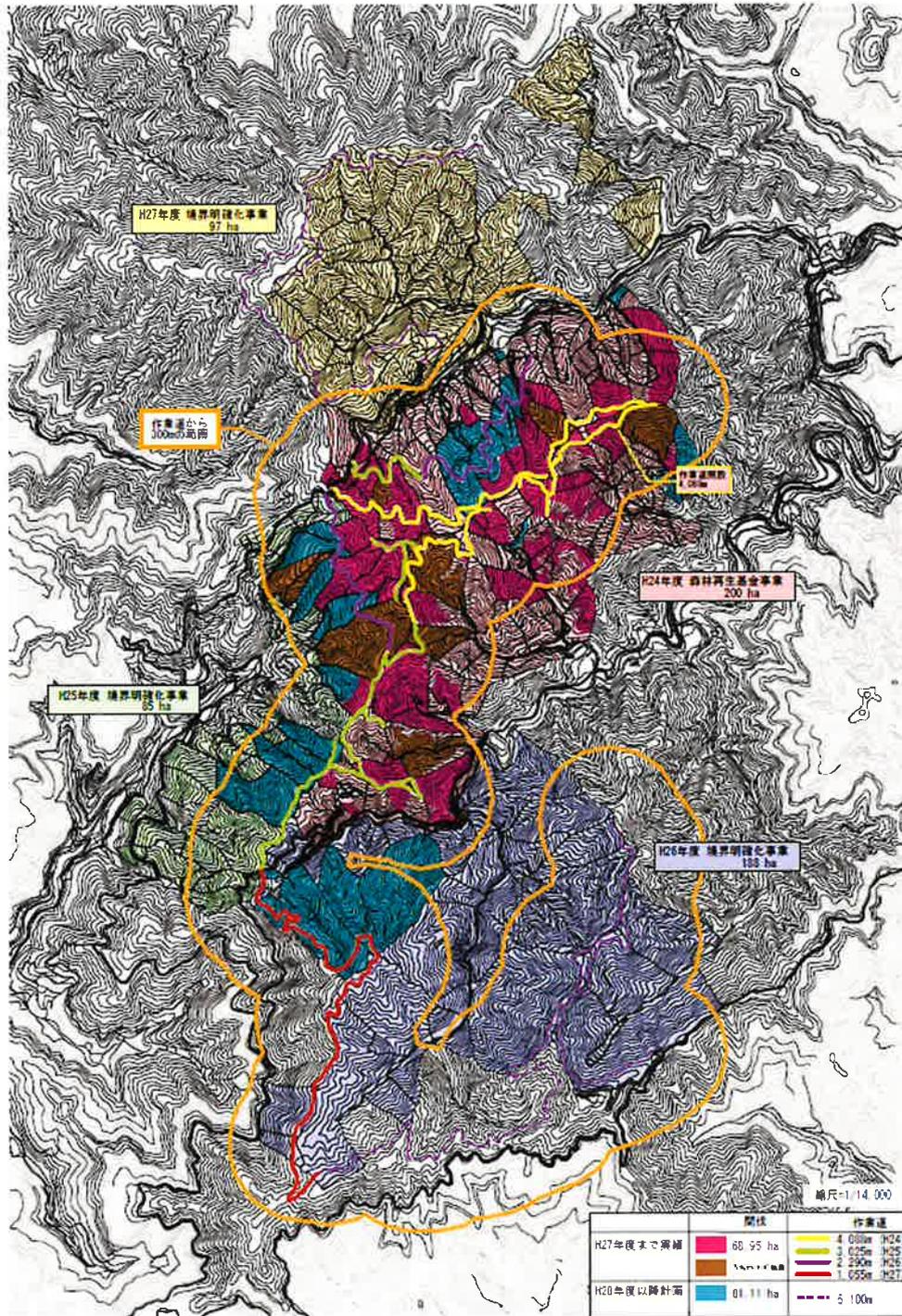


図 3-73 架線系作業システム事業地

現地調査を行った事業地において集約化から事業までを香美森林組合が実施した。タワーヤードの集材範囲の 300m を基本として事業地を設定している。森林作業道の作設は尾根の直上であるとガイドラインの設置が困難であることから、尾根から 20m 程度下方に作設することを基本としている。農林中金の補助事業期間ではのり面保護工と緩い縦断勾配区間の敷砂利を実施していたが、補助事業終了後はのり面保護工と敷砂利の施工は実施していない。ただし、縦断勾配が急な区間におけるコンクリート路面

工の施工については、車両の走行性を確保するため、補助事業終了後も行っている。森林作業道の幅員は 10 トントラックの走行を前提としていることから 4m を基本としている。測量設計に基づく道路ではないが、カーブのセットや路肩の仕上げ等十分なものとなっている。ただし、現地の土質が細かく破碎しやすい泥岩を主体とすることから、敷砂利未施工区間においては降雨後は走行できないとのことである。

集材については、事業地の状況に応じてタワーヤードとスイングヤードを使い分けており、集材距離が短い場合では、架設撤去の楽なスイングヤードで施業する機会が多いとのことである。近年は集材する材が大径化しつつあり、平成 23 年度に導入したタワーヤードシステムよりもやや大型のシステムが望まれているとのことである。



図 3-74 森林作業道(敷砂利部)



図 3-75 森林作業道(敷砂利未施工部)



図 3-76 スイングヤード



図 3-77 伐採跡地(タワーヤードによる)

おわりに

本報告は、「急傾斜林地における高能率作業システムに関する調査研究」として、平成 26 年度より始まったものである。森林・林業を取り巻く状況は、実際の林業の現場でも事業面、技術面で多くの変化が見られる。こういった中で、特に本調査研究の課題は、これらに対応すべき林業技術、特に急傾斜林地における高能率作業システムについての調査研究である。

これまで行政的には、森林・林業再生プランも軌道に乗りつつあり、林業現場も対応しているが、新たな問題としての合板、CLT 等の木材界の需要の変化、森林バイオマス利用という林業の成長産業化に対応しなければならない。このためにはさらに木材生産について高能率な作業によって生産性を上げなければならない。こういったことを考えたとき、従来の林業技術のみでは解決できない問題が生じている。たとえば急傾斜林地での高能率木材生産などである。私たちはこの技術を次世代高能率作業システムとして位置づけ、調査研究したところである。

結論として

- ① 急傾斜林地における作業を考え、GIS 等の利用を考え、山岳林地の地形のとらえ方について、基本的な考え方を整理し、地形を 4 区分にする手法を提案した。
- ② 急傾斜林地で、高能率作業を実行している現場を選定し、ここでの林地について急傾斜林地に特化した GIS による地形区分を実行した。
- ③ 急傾斜林地における高能率作業システム調査として、急傾斜地での車両系による作業システム、架線系作業システム、タワーヤーダ作業システムについて調査考察した。
- ④ 現地作業システムの調査にあたり、作業員、次世代タワーヤーダの動きを記録するために、あらたな測定法として GPS 機能とデータ蓄積、分析法について開発検討した。
- ⑤ 急傾斜林地での路網整備の課題として、急傾斜林地での森林作業道、林業専用道を含めた林道作設上の問題点を調査、整理した。
- ⑥ 急傾斜林地での作業現場を調査し、現状、問題点を考察した。

以上であるが、特に急傾斜林地での高能率作業システム、森林基盤としての路網作設における林業現場の問題として調査研究とした。調査結果から林業現場に対応できる高能率作業システムと森林基盤整備としての路網作設の技術的な一助になれば幸いである。

おわりに、本調査に助成していただいた公益法人国土緑化推進機構に対して感謝申し上げます次第です。また調査に便宜いただいた現地の方々、森林保全・管理技術研究所事務局に対しても感謝申し上げます次第です。

平成29年6月 主査 小林洋司

平成 29 年 6 月 30 日 発行

編集・発行 公益社団法人 森林保全・管理技術研究所

郵便番号 102-0085

住 所 東京都千代田区六番町 7 番地 日林協会館

T E L 03-5212-8148

F A X 03-6737-1237

E-mail office@hozen-ken.jp

U R L <http://www.hozen-ken.jp/>