

5

第5部

路網と作業システム

第1章

路網整備の推進

1 路網整備の状況

地域の森林を整備・管理し、木材を搬出して森林・林業を再生していくためには、路網が適切に整備されていることが必要です。フォレスターは、路網整備を実施する者ではありませんが、路網整備の必要性を認識し、関係者との調整や事業者への指導を行う役割を担う人材といえます。

また、事業者が担う間伐等の作業については、従来の造林・保育を主体とする作業から利用間伐等の搬出を伴う作業に転換していく必要があります。このため、路網を整備し、作業の効率化を図っていくことで山元の収益力を高めていくことができます。

本章では、地域林業再生の鍵を握る路網と作業システムについて、フォレスターが留意すべき点を含めて説明します。

(1) 現状

路網は、国道、都道府県道などの公道、農道、そして林道、さらに森林内での作業に用いる道で構成されます。我が国の平成25年度末の森林内に開設された路網の密度は約19m/haとなっています。

表5-1 日本の森林内の路網密度(平成25(2013)年度末の現況)

森林面積 千ha	林道等(林道、公道)		作業道等(作業道、作業路)		合計	
	延長 Km	密度 m/ha	延長 Km	密度 m/ha	延長 Km	密度 m/ha
24,990	324,545	13.0	161,445	6.5	485,989	19.4

資料：林野庁業務資料

注：森林面積は他省庁所管分を除いた面積

(2) 諸外国との比較

ドイツ(旧西ドイツ圏)は、1960年代から1970年代にかけて集中的な路網整備が進められたことから、路網密度が約118m/haとなっており、オーストリアも、1990年代半ばの時点で約89m/haとなるなど、森林内の路網整備が進み、生産性の高い作業システムが定着しています。

一方、我が国は、アジアモンスーン地帯に属し、高温多雨な気候です。また、台風常襲地帯で梅雨前線に伴う集中豪雨が発生します。また、地質的には、大陸プレートに向かって太平洋プレートフィリピン海プレートが沈み込む変動帯に位置し、複雑な地形となっているだけでなく、地表には火山噴出物に由来する特異な性質をもった土が広く分布し、地形・地質、土質の面から路網整備を進める上で困難な条件があります。材価の低迷とともに路網整備に関する取り組みが消極的になったことや、人工林が利用齢級に達していない林分が多かったことなどの理由から路網の整備が十分

には進んでいませんでした。

このため、我が国の気象条件や地質、土質に応じた路網作設技術を普及し、林業の就労環境の改善を図るとともに、高性能な林業機械の積極的な活用による林業生産性の向上のための条件整備を進めていくことが急務となっています。

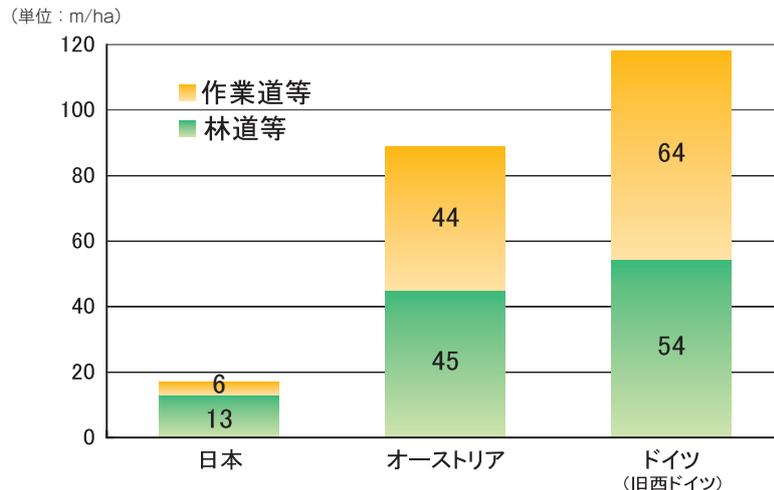


図5-1 林内路網密度の諸外国との比較

資料：BFW「Osterreichische Waldinventur」、BMELV「Bundeswaldinventur(BWI)、林野庁業務資料

注：オーストラリアは、Osterreichische Waldinventur 1992/96による生産林の数値

ドイツ(旧西ドイツ)はBundeswaldinventur 1986/1989による数値

日本は都道府県報告による平成24(2012)年度末現在の開設実績の累計

2 今後の路網整備の方向

これまで、森林施業に使用される道は、林道規程に基づく「林道」(車道)と、林道規程によらない「作業道」(車道)、そして林業用機械の走行を想定した「作業路」などがありました。

しかし、これまでの林道は、山村地域の交通の利便性の向上など地域の公益性・公共性の観点が強くなり、森林経営のための機能発揮が希薄になる面がありました。

また、効率的な作業システム構築のための路網整備を加速していくためには、路網整備に携わる人たちの知識と技術を向上させ、関係者間で共通認識を醸成していくことが必要となっています。

このため、これからの路網は、森林の多面的機能を持続的に発揮していくための基盤として、長期に使用する施設として整備していく必要があります。

このため、路網整備に携わる者の中で、路網のイメージや路網が具備すべき要件に関する認識を共有できるように路網を構成する道を整理するとともに、丈夫で簡易な壊れにくい路網が構築できるよう、路網の規格・構造を明確化した指針を定めました(指針については次章で説明します)。

(1) 路網を構成する道の整理

路網を構成する道の区分と役割分担は以下の通りです。

表5-2 今後の路網の区分

林道	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
林業専用道	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。普通自動車（10トン積み程度のトラック）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・構造をもつことにより、木材輸送の観点から路網全体の機能を強化・補完するもの
森林作業道	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トン積み程度のトラックを含む。）の走行を予定するもの。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、間伐事業等と一体となり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もの

なお、林業専用道は、道の利用形態が「もっぱら森林施業の実施である場合」の林道として林道規程に位置づけられ、設計速度や曲線半径等が緩和され、地形に沿った線形がとれるようになっています。



写真5-1 これまでの林道のイメージ



写真5-2 林業専用道(のり面は低く抑えられ、土工量が小さく、林内へのアクセスが容易)



写真5-3 森林作業道(林業機械が走行する集材作業に用いられる)

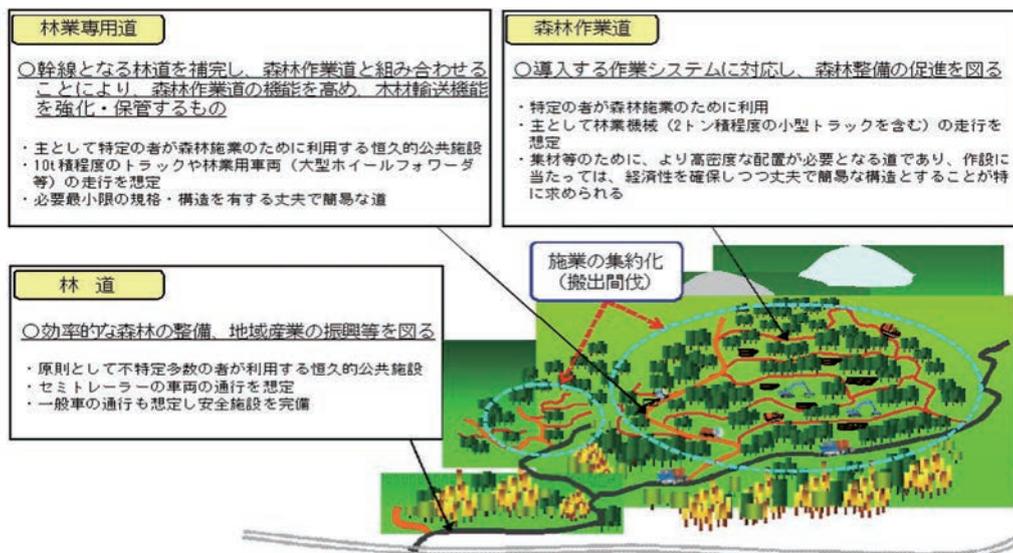


図5-2 林道、林業専用道、森林作業道の役割分担のイメージ

(2) 路網整備水準

路網は、幹線、支線、分線から構成されます。効率的な森林経営の基盤づくりを進める上で、路網を構成するそれぞれの道が、木材の輸送距離や輸送量も勘案して量的にも空間的にも適切なバランスで配置されることが必要となります。また、林道、林業専用道、森林作業道の量的・空間的なバランスは、森林施業の作業システムに影響を与えます。

最適な作業システムには、理論と法則があります。地域の条件にとらわれない普遍的な因子として林地傾斜と土工量、さらに傾斜の違いによって想定される作業システムが異なります。このことに着目し、目標とすべき路網整備水準の目安を示します。

路網整備は、そのものが目標となるものではありません。作業システムについては、第4章以降で説明しますが、最も重要なことは森林所有者、素材生産を行う事業者など地域の関係者の間で、森林経営と調和する最適な作業システムについて十分な検討が行われ、必要な林道、林業専用道、森林作業道それぞれの整備の姿に関する認識を共有していくことです。

表5-3 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

第2章

作設指針

1 作設指針の整備

林業専用道と森林作業道は、作設方法も利用の態様も異なることから、それぞれの性格を明確にするため、林業専用道作設指針と森林作業道作設指針において、それぞれの規格・構造等を明らかにしました。特に、これまで「作業道」や「作業路」と呼んできた道は、地域の特性を反映した創意工夫のもとに作設されたものがある一方で、耐久性に欠けるものもみられたため、線形や排水処理などの基本的事項等、山を崩さない道作りの留意点を明示しました。

両指針には、その性格から共通する部分とそうでない部分があります。まずその点から説明します（なお、林業専用道作設指針と森林作業道作設指針は巻末資料に添付します）。

(1) 指針の性格

① 共通する部分

林業専用道、森林作業道とも堅固な土構造を基本とし、できるだけ地形に沿って作設することで、切土量、盛土量を抑制します。

雨水等の排水は、現地の地形条件等を踏まえつつ、基本的には側溝や暗渠はでなく、屈曲線形や波形勾配の路線線形を採用することで、路面排水を行います。

道と道を繋ぐための道ではなく、使うための道です。このため、連絡線形となるのは、経済合理性等がある場合に限られます。

② 異なる部分

林業専用道は、素材を積載した10t積み程度のトラックや大型のホイールタイプのフォワーダが安全に走行できる性能を担保するため、林道規程、技術基準に従って開設され、仕様書、設計図書により施工管理されます。

森林作業道は、使用する林業機械が安全に走行できるよう、作業を行うオペレーターが、地形、土質の状況を判断しながら作設します。

両者とも地形に追従することが基本ですが、その線形は普通自動車と林業用機械の走行性能の差によって異なります。

(2) 耐久性と経済性の両立

路網は、森林経営の合理化に最も影響を与える施設ですから、実行が予定される作業システムに相応した路網が配置され、それぞれの道に求められる耐久性と経済性が両立するものでなければなりません。

「林業専用道」の設計に当たっては、予定箇所の自然条件と照合し、構造物を抑制していけるよう地形に沿った切り盛り高の低い、土工量の少ないルートを選定が重要になります。堅固な土構造

を基本として、地形・地質、土質などの面から支障となる因子の回避方法を検討するとともに、構造物を計画する場合は、調査設計の発注者と受注者の間で、構造物の必要性について、技術合理性、経済合理性の観点から、個別、具体的な十分な検討が行われる必要があります。

「森林作業道」の作設に当たっては、使用する林業機械の諸元や作業内容をよく理解し、繰り返しの使用に耐える丈夫な道づくりを目指すことが重要です。

森林作業道は森林整備事業の一環として作設されるものであるため、施主である森林所有者や森林整備の事業を行う事業者の経済観念、そして事業者の指示に従って作業するオペレーターの作業経験や習熟度などによって森林作業道の耐久性や経済性が決まります。これらの者の間でどのような道をつくっていくのかに関する共通認識の醸成が重要となります。

2 林業専用道作設指針

(1) 林業専用道作設指針制定の趣旨

林業専用道は、林道に位置づけられますから、林道規程、林道に関する技術基準など諸規定に従って調査・設計が行われ、作成された設計図書に従って施工管理される公共物です。ただし、必要最小限の規格・構造をもつ道としての性格を明らかにするため、指針は、林業専用道の管理、規格・構造、調査設計、施工等に係る基本的事項を示しています。

また、土構造を基本として、構造物をできるだけ設けない道であることを踏まえ、林業専用道の作設を予定している事業地について、地形・地質の面から十分な検討を行います。その際、平均傾斜25～30度程度以下の斜面に作設することを基本に、できるだけ地形に沿って計画することに注意します。

なお、平均傾斜が30度を超える斜面を通過する場合には、路体や地山の安定、走行の安全を確保した構造となるよう十分検討する必要があります。

(2) 規格構造

林業専用道の規格構造は次の通りです。

- ①設計車両 車両構造令に定める普通自動車としその諸元に応じたもの

表5-4 設計車両の規格

(単位：m)

諸元	長さ	幅	高さ	前端 オーバーハング	軸距	後端 オーバーハング	最小回転 半径
普通自動車	12	2.5	3.8	1.5	6.5	4	12

- ②幅員 車道幅員 3.0m

- ③設計速度 設計速度 時速15km

- ④路 肩 原則、側方余裕幅0.25m
走行上の安全性の確保のため必要がある場合は0.5mまで拡幅可能
- ⑤屈 曲 部 車道の屈曲部は、曲線形
- ⑥最小曲線半径 12m以上
- ⑦曲線部の片勾配 設けない
- ⑧曲線部の拡幅

表5-5 曲線部の拡幅

曲線半径 (m) 以上 未満	拡幅量 (m)	曲線半径 (m)	拡幅量 (m)
12 ~ 13	2.25	19 ~ 25	1.25
13 ~ 15	2.00	25 ~ 30	1.00
15 ~ 16	1.75	30 ~ 35	0.75
16 ~ 19	1.50	35 ~ 45	0.50
		45 ~ 50	0.25

- ⑨緩和区間 屈曲部には、緩和接線による緩和区間を設ける
緩和区間長は、B.C、E.Cを基点として8mを標準とする
- ⑩視 距 15m以上
- ⑪縦断勾配 原則として9%（舗装等を行う場合は12%）以下
やむを得ない場合14%（延長100m以内に限り16%）以下
- ⑫縦断曲線 代数差が5%を超える場合曲線半径100m以上の縦断曲線を設ける長さは20m以上
- ⑬路 面 路面は砂利道、縦断勾配が7%を超える場合は、コンクリート路面工等の路面侵食を防止できる構造とする
- ⑭横断勾配 水平とし、路面水は必要に応じて横断排水工等により処理する
- ⑮林業作業用施設 林業作業用施設は、当該林業専用道沿線の森林施業の状況、林業専用道および森林作業道の分岐等を考慮して設ける。林業作業用施設は、待避所および車回しを兼ねることができる
- ⑯交通安全施設 急カーブ、急勾配等の箇所その他の通行の安全を確保する必要がある場所において、管理者は、カーブミラー、注意標識等の交通安全施設を設ける

(3) 測量・調査・設計

①路線選定

路線の選定に当たっては、森林施業のポイントや森林作業道との分岐点等を考慮しながら、地形・地質の安定している箇所を通過するようにします。また、路線の線形は、地形に沿った屈曲線形、波形勾配とし、必要な諸条件を十分調査、検討して適切な路線計画を立てます。

○路線計画に当たり検討すべきポイント

- 予定されている森林作業道や作業システムとの連携
- 通過位置、線形は地形に追従し切土、盛土を抑え、森林へのアクセスを確保
- 曲線半径は地形条件と拡幅量等を踏まえ検討
- 土構造を基本とするが、地形条件やコストなどを踏まえ必要に応じて構造物も検討
- 伐開幅は必要最小限とするなど、自然環境の保全への配慮
- 希少な野生生物の生息等への配慮、必要な対策を検討
- 排水処理は分散排水



○通過位置のポイント

- 踏査と予測の繰り返しが重要
- 地形・地質上の安定斜面を選定
- できる限り尾根部を通過するよう選定
- できる限り傾斜の変換点（タナ）を選定
- 溪流の横断はできるだけ回避
- 現地における直接測量の実施
- 地形に追従したルート、平面・縦断



○地形に追従したルート、平面・縦断線形のポイント

- 切土および盛土ののり面高を低く抑える
- それにより土工量を減少させる
- 簡易なのり面保護工や擁壁等の構造物を抑制できる（土構造）

②実測量、設計図、数量計算

林業専用道の実測量等は次により行います。

- 実測量は、現地測量を原則とし、IPの選定、中心線測量、縦断測量、横断測量および平面測量を行います。
- 実測量等の成果を基に、路線の幾何学的構造等について位置図、平面図、縦断面図、横断面図および標準図を作成します。また必要に応じて、構造物図、用地図等を作成します。
- 数量計算は、設計図等に基づき、設計積算等に必要な所定工種、工法等別に算出します。

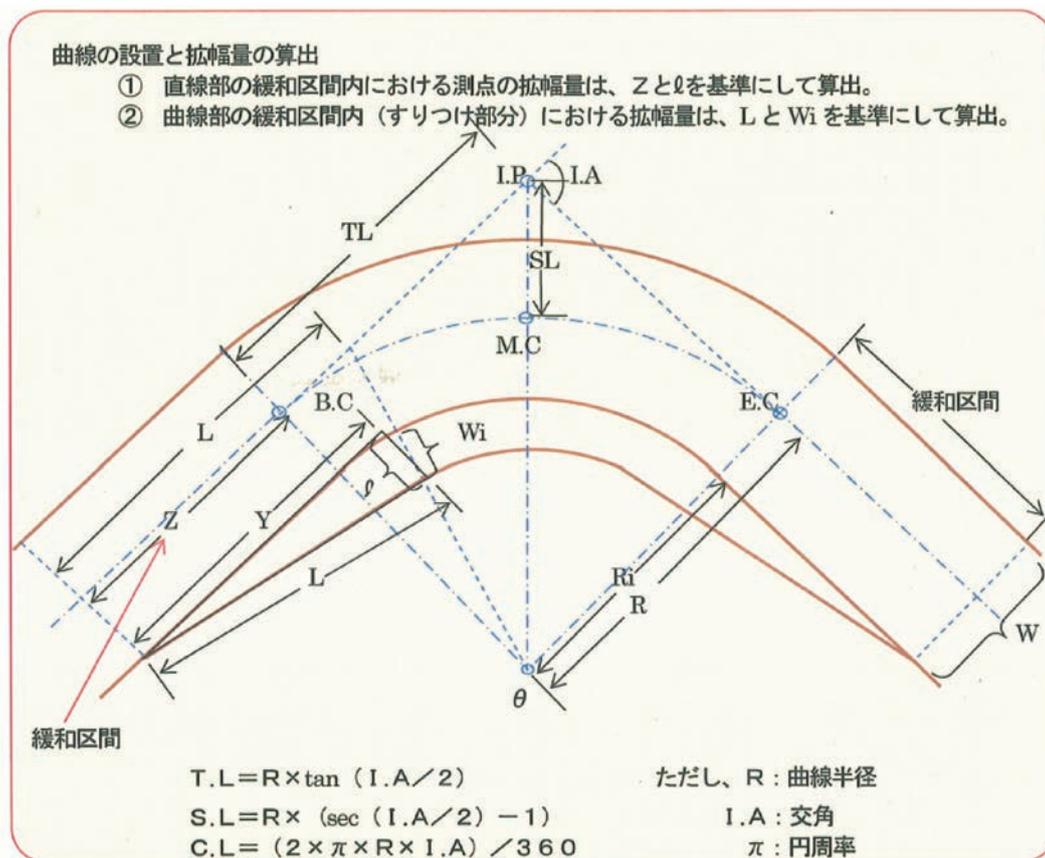


図5-3 曲線の設置と拡幅量の算出

○曲線の設定のポイント

- 地形に沿った線形とすることができるよう、設計車両の最小回転半径を $R = 12m$ で設計することができる
- ただし、 $R = 12m$ の場合は拡幅量が大きく ($2.25m$) となるため、地形に沿わせるよう設計した結果、大きな拡幅が連続するようでは、本末転倒になる
- 曲線半径は地形条件と拡幅量等を比較考量し、バランス良く決定することが重要

(4) 土工の注意点

林業専用道を施工するに当たって注意すべき点は次の通りです。

①切土 切土高は極力低く

のり面勾配は、土質条件等により判断し、土砂の場合6分、岩石の場合3分を標準

②盛土 盛土高は極力低く

盛土勾配は、盛土基礎地盤、盛土材料等より判断し、1割2分を標準

③残土 切土、盛土の土工量は均衡かつ最小化

やむを得ず残土が発生する場合は、路線内で処理

④のり面保護工 切土および盛土高を低く抑えることが前提

切土のり面整形・保護工は、原則として実施しない。土質条件等から早期の保護が求められる等の場合、種子吹付工等を実施

盛土のり面保護工は、早期の保護が求められる等の場合、実播工等による植生工を実施

⑤路盤工 路床の強度、実績等を基に路盤厚を決定。現地発生材の利用を考慮

(5) 構造物

直線区間の設定により、安全性向上が図られる場合等には、擁壁等の設置を検討します。

地山の急傾斜箇所や溪流の横断箇所等において土構造のみで安定しない場合は、必要最小限の構造物を計画します。橋梁は、原則として設けないこととしますが、一定の流下断面を確保する必要がある場合には、橋梁（大型ボックスカルバート含む）の設置を検討します。

(6) 排水処理

波形勾配による分散排水を原則としていますが、現地の状況により簡易な資材等による横断排水工を設置します。なお、側溝は、湧水を導水する場合や山腹斜面からの雨水が路面に流入する箇所など必要な場合に採用します。常水がある場合の横断排水は、原則開渠で行い、溪流の横断は洗越工等によることとします。

○曲線部の片勾配および横断勾配のポイント

- 曲線部の片勾配は設けない
- 横断勾配は水平とする
- 湧水や地形等の関係で側溝を設ける場合は、片勾配または横断勾配を設ける

3 森林作業道作設指針

(1) 森林作業道作設指針制定の趣旨

林業専用道と異なり、森林作業道は、技術基準などが整備されていません。また、路線計画や作設作業の内容は、作業を行うオペレーターの判断に委ねられています。このため、指針は「最適な森林作業道を作設していく上で、全国一律に適用する指針を策定することは、地域における創意工夫を促す面では、必ずしも望ましいことではない。一方で、不適切な森林作業道の作設を未然に防止することも重要である。」とし、「森林作業道を作設する上で考慮すべき最低限の事項を目安として示した。」「森林作業道の技術はそれぞれの地域の地形・地質、土質や気象条件等を十分踏まえ、この指針によるほか、近傍の施工事例を参考としたり、地域において作設作業に十分な経験を有する者から技術的な指導を受けることが必要である。」と関係者の注意を喚起しています。

なお、構造上の特徴として、「間伐をはじめとする森林整備、木材の集材・搬出のため継続的に用いられる道であり、作業システムと連携し、地形に沿うことで作設費用を抑えて経済性を確保しつつ、繰り返しの使用に耐えるよう丈夫で簡易なもので」「路体は堅固な土構造によることを基本とし、構造物は地形・地質、土質などの条件からやむを得ない場合に限り設置することとする。」とし、安易な道作りを戒めています。

(2) 路線計画

① 計画

路線は、伐木造材や集材等の作業に使用する機械の種類、性能、組み合わせに適合し、森林内での作業の効率性が最大となるよう配置するよう計画します。なお、地形・地質、気象条件はもとより、水系や地下構造を資料等により確認するとともに、道路、水路などの公共施設や人家、田畑などの有無、野生生物の生息・生育の状況なども考慮します。

○計画のポイント

- 地形、地質の安定している個所を通過するように選定
- 線形は地形に沿った屈曲線形、排水を考慮した波形勾配
- 林道との接続地点、地形を考慮した接続方法、人家、施設、水源地などを考慮
- やむを得ず破碎帯などを通過する場合は、区間を極力短くし、簡易な工作物等の設置を検討
- 森林施業の効率化の観点だけでなく潰れ地となる小規模森林所有者にも配慮
- 造材、積み込み作業や作業を安全かつ効率的に行うための空間を適切に配置
- 作設費用と得られる効果のバランスに留意

② 傾斜に応じた幅員と作業システム

森林作業道は、土工量の縮減を図る観点から、作業システムに対応する必要最小限の規格で計画することが必要です。このため、指針は、傾斜区分に分けて、想定される作業システムのクラス別に幅員の目安を例として示しています。

また、必要最小限の余裕幅を林業機械を用いた作業の安全性、作業性の確保の観点から、当該作業を行う区間に限って付加することができることとし、付加する幅は9～13 tクラスの機械（標準バケット容量0.45m³クラス）にあっては、0.5m程度としています。

○林地傾斜別、作業システムのベースマシン別幅員の目安の例示

傾斜25°以下

6～8tクラス (バケット容量0.2 m³～0.25 m³クラス) および9～13tクラス (バケット容量0.45 m³クラス) の幅員は3.0m

傾斜25～35°

6～8tクラス (バケット容量0.2 m³～0.25 m³クラス) の幅員は3.0m

3～4tクラス (バケット容量0.2m³クラス以下) および2t積トラックが走行する場合の幅員は2.5m

傾斜35°以上

急峻地であるため、丸太組等の構造物を計画しないと作設が困難であり、構造物を多用すると経済性を失ったり、環境面、安全面での対応が困難となるおそれがある場合は、林道とタワーヤードなどの組み合わせによる架線集材を検討する

森林作業道の作設を選択する場合には、3～4tクラス (バケット容量0.2m³クラス以下) をおよび2t積みトラックの走行に限られるものと想定され、その場合の幅員は2.5m

注：バケット容量は旧JIS表示

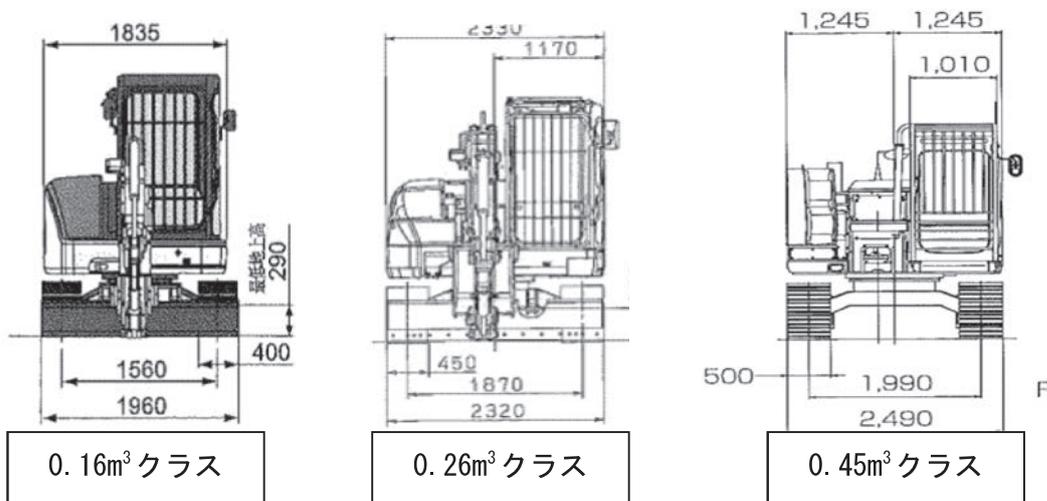


図5-4 重機の車幅(例)

(3) 縦断勾配

① 縦断勾配の基本

縦断勾配は、集材作業を行う車両が、木材を積載し安全に上り走行・下り走行ができるように概ね10度 (18%) 以下とし、やむを得ない場合は、短区間に限り概ね14度 (25%) 程度で計画します。12度 (21%) を超え危険が予想される場合は、必要に応じてすべり止めのため、コンクリート路面工等の施工を検討し、滑り止めのため路面を筈ばきしたりします。

②曲線部の縦断勾配

急勾配区間と曲線部の組み合わせはできるだけ避けるようにします。

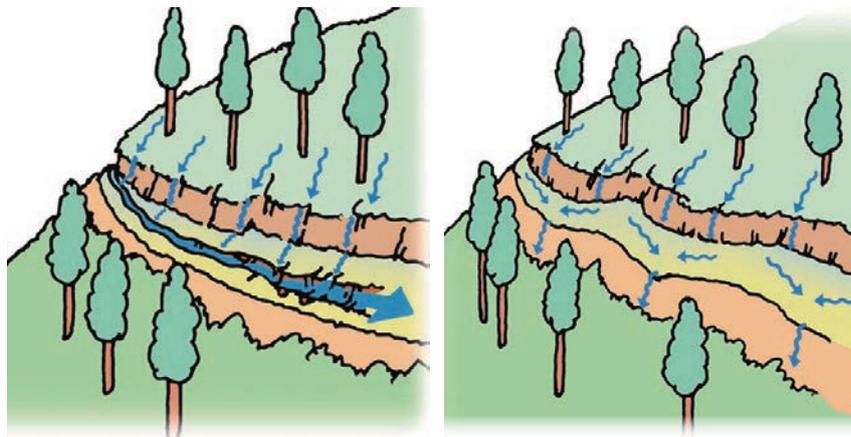
(4) 排水計画

道が壊れる最も大きな原因は排水処理の失敗によるものです。

森林作業道では、原則として路面の横断勾配を水平にした上で、縦断勾配を緩やかな波状にすることにより、こまめな分散排水を行います。なお、排水先は安定した尾根部や常水のある沢に設定するなどにより、路面に集まる雨水を安全、適切に分散処理するよう心がけます。

○排水処理のポイント

- 横断排水施設やカーブを利用して分散排水
- 適切な排水先がない場合や湧水などがある場合は側溝等により導水
- 排水はカーブ上部の入口部分で行い、曲線部への雨水の流入は避ける
- 転落事故防止のため、降坂区間やカーブで谷側を低くすることはしない



路面排水されていない

路面排水されている

図5-5 路面の排水

(5) 施工

切土優先で森林作業道を作設すると、残土が大量に発生するだけでなく、大きな切土面が生じ、崩壊の危険が高まります。

また、土を単に山側から谷側に移動するだけのルーズな盛土でつくる道は、土砂流出のおそれがあるだけでなく、路体決壊により走行する林業機械が転落するおそれもあります。このような道は、長期に使用することはできません。森林作業道は、地形に沿わせて作設することで切土、盛土を小さくするとともに、盛土を丁寧に締め固めて堅固な路体をつくるものであることを決して忘れてはなりません。

①切土

切土のり面の勾配は土砂の場合は6分、岩石の場合は3分を標準とします。ただし、土質が、岩石であるときや土砂であっても切土高が1.2m程度以内であるときは、直切りが可能な場合がありますので、土質や近傍の施工事例を踏まえて直切りの可否を検討してください。



※のり面高は低く抑えている。1.2m程度以内であれば直切りも可能な場合もある。

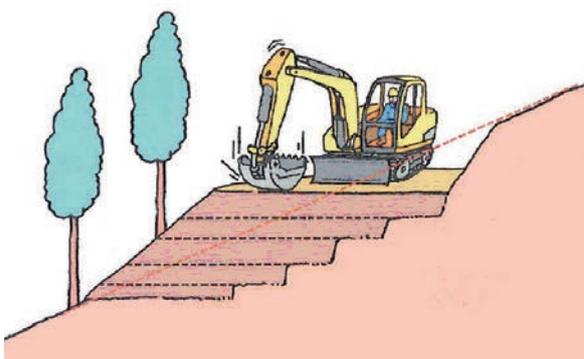
図5-6 のり面高

②盛土

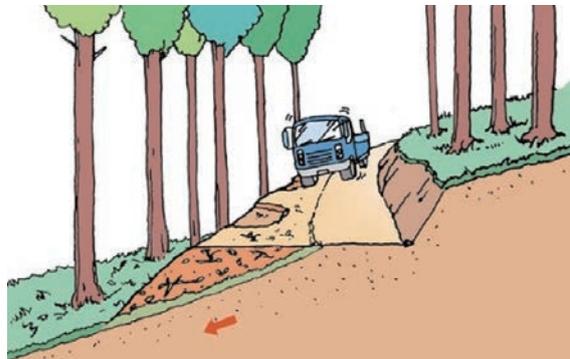
堅固な路体をつくるため、締め固めは概ね30cm程度の層ごとに十分に行うようにします。盛土のり面の勾配は、概ね1割より緩い勾配で計画します。盛土高が2mを超える場合は、1割2分程度の勾配とします。なお、急傾斜地では、丸太組工、ふとんかご等を検討するなど、盛土高を抑えながら、堅固な路体を構築することも検討します。ヘアピンカーブで盛土箇所を谷側に張り出す場合は、構造物を入れたり、締め固めを繰り返し行って路体に強度をもたせます。

盛土の土量が不足したり余る場合は、施工区間の前後の区間を含めて路面高を上下させることで土量調整を行うことも必要です。

なお、根株や枝条残材などを盛土路体に埋設すると腐朽によって盛土が崩壊する恐れがあるので、行ってはいけません。



※丈夫な路体を作るためには段切りを行い、盛土を30cm程度の層毎に締め固めを行う。



※盛土を地山に乗せただけの盛土は、転圧も効かず、崩壊を招く恐れがある。

図5-7 盛土

③ 曲線部

林業機械が安全に走行できるよう、内輪差や下り旋回時のふくらみを考慮して曲線部を拡幅します。

④ 簡易な構造物等

森林作業道は、土構造が基本です。ただし、安全確保の観点や地形・地質、土質、幅員などの制約から構造物を設置する場合は、丸太組工、ふとんかご等の簡易な構造物、コンクリート構造物や鋼製構造物などの中から、利用の頻度やコスト、耐用年数を考慮して選定します。

⑤ 排水施設

森林作業道は、路面の横断勾配を水平とし、波形勾配を利用した分散排水を行うことを基本とし、必要に応じて簡易な排水工を設けます。

○排水施設のポイント

- 排水は、路面の縦断勾配、当該区間の延長および区間に係る集水区域の広がり等を考慮して、適切な間隔で行う
- 排水溝を設置する場合は、維持管理を考慮し、原則として開渠
- 横断排水工の排水先には、路体の決壊を防止するため、岩や石で水たたきを設置したり、植生マットで覆うなどの処理
- 小溪流の横断には、原則として洗い越しを施工
- 洗い越しの上流部・下流部に流速を抑えるための水溜を設ける場合は、渦や落差による侵食を引き起こすおそれがないよう留意

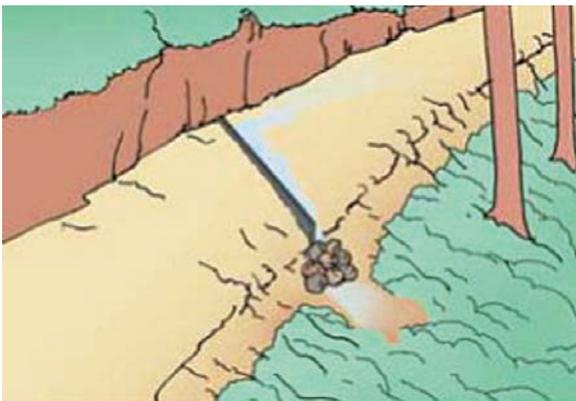


図5-8 簡易な横断溝の例

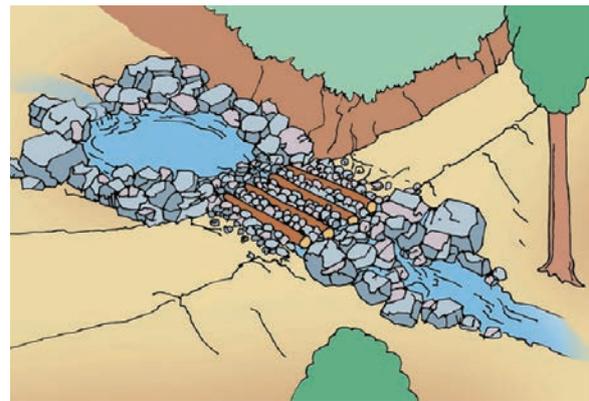


図5-9 洗い越しの例

※排水先には岩や石で水たたきを設置したり、植生マットで覆うなどの処理を施す。

⑥ 伐開

立木の伐開は、施業地の地形・地質、位置、土質等を考慮し、幅員に応じた必要最小限の幅とします。

○伐開のポイント

- 施業地の斜面の方向や地域の気象条件を考慮して必要最小限の伐開幅
- 伐開の幅は、施業地の土質を考慮
 - 粘着性の高い土質の箇所は、狭くする
 - 崖すい等粘着性の低い土質の箇所では、のり頭は崩れやすいので伐開幅を広くする
- 路線沿いの立木は路肩部分の保護、特に谷側の立木は車両の転落防止にもなるので保存

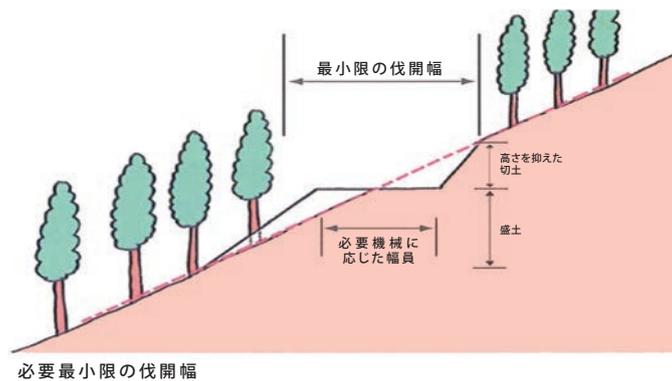


図5-10 伐開幅

(6) 管理

森林作業道は特定の林業者等が森林施業専用利用する施設であるため、施設管理者はゲートの設置・施錠等により、必要に応じて一般の車両の進入を禁止するなど適正な管理に努める必要があります。

(7) 参考

○丸太組工について

丸太組工は、丸太組により路体支持力を維持するものであり、現地資材を有効に活用できるほか、施工から数十年経過した事例もある。

この工法を採択する場合には、作設時の強固な締め固めが必要なことに加え、路体支持力を維持していくため、丸太が腐朽した場合には、丸太を補強したり砂利を補給するなど、丸太の腐朽を補う維持管理が重要である。

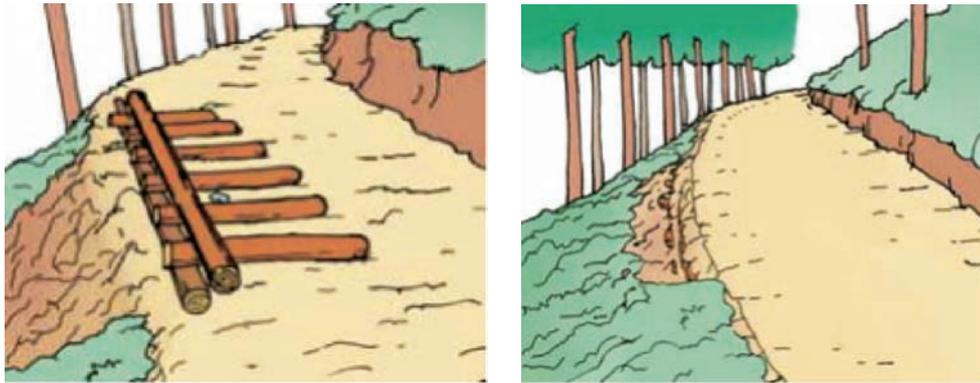


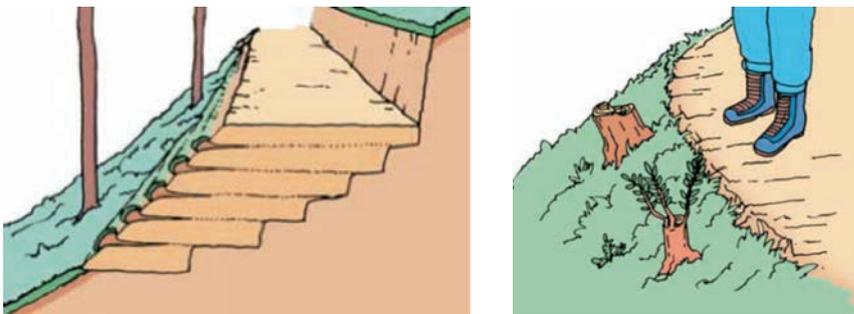
図5-11 丸太組工

※土構造で路体が作設できない場合、丸太等の簡易な構造物も有効である。

○表土、根株を用いる盛土のり面保護工について

この工法を採択する場合は、集材方法を考慮し、路肩上部の根株が集材・運材作業の支障とならないように留意することが求められる。

なお、根株やはぎ取り表土は、路体構造として車両の荷重を支えるものではなく、あくまで土羽工の一部と位置づけられるものである。これについて工法本来の趣旨を誤解、逸脱した施工事例が多く見られることから注意が必要である。



根株等を土羽工の一部として利用する方法もある。

図5-12 表土をのり面緑化に利用した例

4 PDCAサイクル

(P:計画、D:実行、C:チェック、A:改善の取り組み)の確立

路網は、森林経営の合理化に最も影響を与える施設であり、その整備を促進し、後世へ伝えていくことが重要です。そのような観点から、林業専用道と森林作業道の性質に応じた問題点を次に述べます。

林業専用道は林道に関する技術基準や仕様書によって施工管理されている公共施設ですが、林業の作業現場としての利用方法にできるだけ対応するよう整備していく必要があります。このため、

地形・地質、土質に応じた技術的観点からの検討に加え、使い勝手や経済性の面からの評価が欠かせませんし、評価によって得られた知見を次の現場に活かしていく必要があります。

一方、森林作業道は、作設オペレーターが、作業を行う現場の自然条件、地形・地質、土質をその場その場で判断しながら作設作業を進めますが、作設した森林作業道が間伐などの森林施業の事業を実施するものである以上、その成否は、森林施業の事業全体の中で評価されなければなりません。いかに立派な道がつくられていても、事業実施の面では役に立たないものであれば、それは有用な道とはいえないのです。また、「あんな道ではすぐ壊れてしまう」といった評価を聞く場合がありますが、単に「壊れてしまう」という抽象的な評価を行うだけでは、問題の所在が把握されていないため、次に学ぶべき教訓が得られないだけでなく、不良工事を防いでいくことさえもできません。客観的な評価が必要であることがわかりいただけると思います。

P D C Aサイクルの確立に向けた取り組みは、以上のような問題意識を事業に取り入れていく上で重要な活動であるといえます。

(1) 林業専用道におけるP D C Aサイクル

林業専用道は、林道規程、技術基準、仕様書等に基づいて施工管理されます。このため、設計、工事の手續そのものには、それぞれの品質管理のためP D C Aサイクルが取り入れられています。

しかしながら、林業専用道では工事の品質管理にとどまらず、地形追従能力を磨いたり、森林内での作業とのマッチングを考えていく観点をP D C Aの各段階に取り入れ、次の行動に反映させていく仕組みをつくっていかねばなりません。

このため、林野庁は、平成23年4月6日付け23林整整第5号整備課長通知により「林業専用道の作設に関するチェックリスト例の送付について」を作成し、都道府県宛に通知しています。

チェックリストは、調査設計発注者と受託者との設計協議、設計図書の完了検査、工事の施工中および完了検査時、並びに既設林道等を事例とした現地検討会等の場で活用することを通じ、都道府県職員、市町村職員等事業に関係する者の技術の向上や共通認識の醸成に役立てていただければと考えています。【林業専用道チェックリスト巻末参考】

○林業専用道の施工管理の留意点

目標達成のための品質管理

- 設計図書に基づく施工が基本
 - 起工測量が施工管理の第一歩
- 「林業に使える道」が目的物
 - 地形の変化に対応、森林作業道の取り付け部や林業作業用施設（土場施設）の確保
- 土壌構造のため、土質の変化に臨機に対応
 - 切り土のり面勾配に留意
- 分散排水が機能する施設の配置に留意
 - 横断排水溝の位置等臨機に対応

(2) 森林作業道におけるPDCAサイクル

森林作業道は、搬出間伐を支援していくインフラとして助成されます。林野庁整備課は、平成25年4月森林作業道に係わるPDCAサイクルを進めていくため、森林作業道チェックリスト(例)を通知しました。チェックリスト(例)は、路線計画用、施工オペレーター用、そして検査職員用にわかれています。ここでは、検査職員用を示します。【森林作業道チェックリスト巻末参考】

第3章

路網整備における フォレスターの役割

路網は、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、持続的な森林経営を実現するためには、丈夫で簡易な、使いやすい道づくりを進めていく必要があります。

また、林業の収益性向上のためには、路網と高性能林業機械の合理的な組み合わせによる生産性の高い作業システムの構築が重要となっています。

国産材自給率50%以上の実現に向け、作業システムを機能させていくための森林作業道と、木材の輸送コスト縮減のためトラックが走行可能な林道・林業専用道とを一体的かつ有機的に整備し、合理的な路網を構築し、林業の生産性を向上させていくことが必要です。

戦後、営々と造成されてきた人工林を中心に森林資源が成熟、充実する状況にあります。路網が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ることを踏まえつつ、生業としての林業を主眼に置いた路網計画のプランを示し、関係者の意識を切り替えていく役割がフォレスターに求められています。

1 林業専用道とフォレスターの役割

フォレスターの役割は、①広域的・長期的な視点に立った構想を作成し、②公平・公正・中立的な立場から関係者の合意形成を図り、③構想の実現に向けた取り組みを進めていくことにあります。この点を地域の森林・林業のビジョンにおける林業専用道の役割を中心に整理すると、以下の通りになります。

(1) 地域の森林・林業のビジョン

地域の森林・林業の構想（ビジョン）は第3部第1章で説明した通りですが、林業専用道はこのビジョンを実現するツールとしての役割を担います。

特に、地域において効率的な木材生産を実現するためには、地形等に対応した作業システムの選択と、そのシステムに応じた路網の整備が重要です。地域内の森林現況や集約化の進展状況等を念頭において施業を集中して行う団地を設定し、その団地内の優先度や作業システム、自然的・社会的条件を踏まえて路網の戦略を立てます。

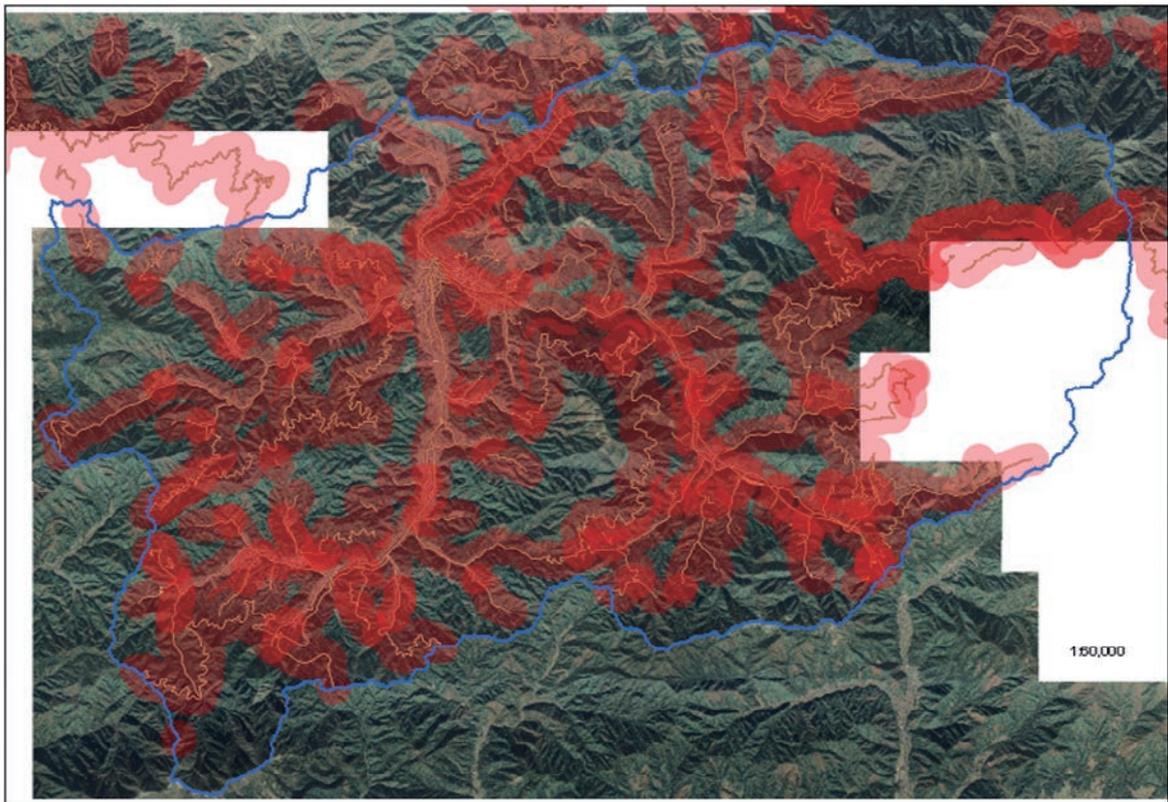


図5-13 路網配置の検討事例(鳥取県智頭町)

公道、林道等をマッピングし、フォワーダによる搬出コストの限界を水平距離350mとしてゾーン(赤い部分)を表示した事例

林業専用道の施工主体は主として市町村であり、事業費の補助はありますが市町村の経費を投入する必要があります。また、自ら事業を発注・監督するとともに管理責任も負います。

また、林業専用道はもっぱら森林施業のために使用される道であり、従来の公道的性格の強い林道ではないため、市町村長や関係職員、地域のさまざまな関係者の意識を変え、合意形成を図りつつ進める必要があります。

そのため、ビジョンの作成に当たっては、森林施業や林業専用道の投資と、地域への効果をトータルで示していくことが重要です。特に効果については森林の多面的機能の発揮、木材販売による山元利益、地元事業体の育成や雇用の確保、これらに関連する地域振興効果など幅広く示すと良いでしょう。

森林土木の担当者は、森林施業や林業振興のビジョンまでの役割までは担えません。ビジョンはフォレスターが作成する必要があります。

(2) 市町村森林整備計画の策定・変更

ビジョンは、市町村森林整備計画に具体的に表現する必要があります。ビジョンを踏まえて市町村森林整備計画の記載事項(木材生産等維持増進区域、路網整備等推進区域、基幹路網の予定線形等)を定めるとともに、地域森林計画にも林業専用道の路線を記載することになります。

フォレスターは、ビジョンの検討段階から、これらの策定に関わる都道府県・市町村の担当者との連携・調整を行うことも必要です。

(3) 設計・施工に当たってのアドバイス等

林業専用道は森林へのアクセス性を高める必要があります。土木技術については森林土木担当者からアドバイスした方が良いと考えられますが、低いのり高に抑えられている等林内への進入が容易な状況にあるか、土場や作業ポイントに配慮がなされているか等の森林施業にとって使い勝手の良い道作りのアドバイスはフォレスターが担う必要があります。

設計・施工業者の意識の切り替えも含め、市町村の担当者や都道府県森林土木担当者と連携して取り組んでいくことを期待します。

(4) 完成・供用

林業専用道を活用した効率的な作業についての事業者や森林施業プランナーへのアドバイスや、完成後の林業専用道の状況や活用実態等を把握し、関係者と連携して今後の林業専用道の改善につなげていくことも、フォレスターとして心がけるようにしてください。

2 森林作業道とフォレスターの役割

森林作業道は、森林整備事業の事業者が作設する道です。従って、フォレスターの任務としては、森林経営計画の策定時点の森林施業プランナーへの指導、事業実施時点の路網作設オペレーターへの指導が主体となります。

また、森林作業道の作設技術はまだ途上の段階にあります。森林施業プランナーやオペレーターの路網に関する知識・技能を高めるため、研修や現地検討会への参加を促していくことも重要です。

表5-6 路網計画のチェックポイント

路網計画をチェックする				
地形・地質、気象、経済的、技術的条件				留意点
地形	地形分類	形態	傾斜、谷、斜面型、流れ盤等	地層の走向や谷の深さ、地盤の安定した場所か
		成因	地すべり、崖すい等	崩積土、湧水の可能性
地質	岩石成因	火成岩	風化を受けていないものは硬い	伏流水 (湧出部に転石、滝などが見られる場合がある) 角礫の抜け落ち、巨塊の存在、節理の崩壊の可能性
		変性岩	火成岩や堆積岩が高温や高圧により変質	変成帯によって性質が異なる (地すべりの原因になることがある)
		堆積岩	侵食、運搬、堆積した土が固結化	砂岩、泥岩などが積み重なっているか (層理面に沿った割れ目が生じやすい場合がある)
	年代と特徴	時間	固結化の程度に影響	特に第四期以降の地質は軟弱
		土層の特徴	プレートの移動に伴って生成された付加体、断層、変性、火山活動等	流れ盤地形、褶曲作用や火山岩の冷却に伴って形作られる節理、雨水等による風化作用など地盤の生成過程による問題の有無 断層付近の固結度
	土	基岩の影響	粒度組成、密度、粘性、含水比等	安定した盛土ができる性質の土質か (含水比が高い場合は締め固め困難)
特異な土		ローム、まさ、しらす等	作設作業や水処理法の影響	
気象	降雨特性	降雨強度、総雨量等	排水方法、沢の横断、集水区域の広がり 濁水の発生	
	気温	凍結、融解の影響	のり面への影響、作業上の注意 (南側斜面は凍結融解の影響受けやすい、滑落の危険)	
経済技術	事業者、作設者に必要な知識、技能、技術、過去の実績等			生産性を考慮しているか
	コストと事業委託者の満足度、作業従事者のインセンティブを高める工夫等			事業者の意識はどうか

第4章

作業システムと林業機械

1 作業システムとは

「作業システム」とは、木材生産現場における、「作業」と「機械」と「人」の有機的な組み合わせであり、立木の伐倒（伐木）、枝払い・玉切り（造材）、林道端や土場への搬出（木寄せ・集材）まで（場合によってはトラック積み込みまで）の一連の作業プロセスであると言えます。要は森林にある立木を丸太（素材）の形にして土場に集積するまでの方法であり、その要素は伐倒、枝払い、玉切り、集材など基本的に変わらないのですが、それらの工程の順番は、機械の選択や人の配置でさまざまな選択肢があります。この作業システムの構築は、それぞれの事業体の経営判断に基づくものですが、選択のバラエティが大きく、それ故に収益性を大きく左右する重大な投資判断でもあります。しかし作業システムの決定における基準は、その現場における木材生産の収益性の確保だけではなく、中・長期的な事業量の見通しや事業地の林況、さらには事業体の現場技能者の状況など、さまざまな側面があり、したがって1つの事業地であっても事業体によって最適なシステムは必ずしも同じではなく、また1つの事業体であっても事業地によって最適なシステムは異なるものとなります。

2 林業機械導入の考え方

林業機械は、作業システム構築の上で非常に重要な要素です。新品を購入すると、ハーベスタで2,000万円前後にもなる大きな投資となることから、重要な経営判断となります。一方でハーベスタの労働生産性を手持ちのチェーンソーと比較すると、伐倒・枝払い・造材まで一気に行うことができ、圧倒的な差があります。機械購入の判断基準は、購入価格のほか、事業量と稼働率の見通し、システムにおける生産性、メンテナンスや故障修理など維持管理費や運搬費など購入後にかかるコスト、オペレーターの確保などの要素が考えられます。

フォレスターの立場からは、補助金等を活用して安易に高性能な機械を導入し、稼働率が低位のままとなるような状態に陥ることを未然に防ぐという見地からのアドバイスが期待されます。一方で十分な事業量を確保し、積極的に生産性を向上しようとする事業体に対しては、処理能力が低く効率の悪い古い機械を更新し、より高性能・高効率な機械を導入することで、生産性を向上させるだけではなく燃費の改善、技能者のモチベーションの向上、労働安全の確保などに貢献することも考慮します。

さらに機械の処理能力に見合う十分な事業量の確保が可能で、地形や路網の条件が合致するのであれば、先進的な機能を持つ林業機械の導入により、飛躍的な生産性のアップが実現できる可能性があります。国内に導入した北欧製のハーベスタが点状間伐において、1台で伐倒から造材まで1日100m³を大きく上回る実績を挙げた例もあります。また操作系の自動化を徹底したタワーヤーダで伐採から造材までを3人で行い、高い生産性が実現できることも実証されつつあります。こうした従来の林業機械と比較して能力が格段に高い機械を導入するに当たっては、既に導入した事業体から情報を収集するなどにより、導入後の作業を現状および今後の自らの条件に当てはめてシミュ

レーションした上で判断します。

機械の導入は、新品を購入するだけでなく中古を選択肢としたり、レンタルやリースを活用することも条件によっては有力な選択肢となります。レンタルは、事業地や伐採方法に合わせて機械を選べるメリットがありますが、高度な機械ほどオペレーターの操作の習熟が大きく生産性に影響します。どのような導入方法による場合にも、故障修理の対応やメンテナンスなどをきちんとできるような体制とすることが必要です。



写真5-4 先進的な車両系林業機械の例

ドイツ製の林業用トラクタ。キャビンが270°回転し、前・後進が同じように可能。強力なダブルウインチは乱巻きをしない工夫がされている。アタッチメントは、グラップル、ハーベスタ、牽引荷台、クラムバンクなどが装着可能。

第5章

作業システム選択の考え方

1 作業システムの種類

作業システムは、伐倒した木を森林作業道や林業専用道まで引き寄せる方法（木寄せ）により、集材機やタワーヤードを使用する架線系とウインチの直曳きやグラップル等による車両系とに大別されます。車両系は比較的高い路網密度が要求され、架線系は急傾斜地などの路網密度が限られる作業地や、架線の架設・撤去の手間を考慮しても車両系よりも高い効率を得られるような条件の作業地で採用されています。特に車両系のシステムでは、使用する機械と人の組み合わせにより、多くのバリエーションが考えられます。林地傾斜は路網配置に密接に関連し、作業システムも林地傾斜と路網配置に密接に関連しています。これらの関係を大まかに整理すると、以下の表のようになります。

表5-7 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	枝払い・玉切り	運搬
緩傾斜地 (0 ~ 15°)	車両系	150 ~ 200	30 ~ 75	ハーベスタ	グラップル ウインチ	(ハーベスタ)	フォワーダ トラック
中傾斜地 (15 ~ 30°)	車両系	200 ~ 300	40 ~ 100	ハーベスタ チェーンソー	グラップル ウインチ	(ハーベスタ) プロセッサ	フォワーダ トラック
	架線系		100 ~ 300	チェーンソー	スイングヤード タワーヤード	プロセッサ	トラック
急傾斜地 (30 ~ 35°)	車両系	300 ~ 500	50 ~ 125	チェーンソー	グラップル ウインチ	プロセッサ	フォワーダ トラック
	架線系		150 ~ 500	チェーンソー	スイングヤード タワーヤード	プロセッサ	トラック
急峻地 (35° ~)	架線系	500 ~ 1500	500 ~ 1500	チェーンソー	タワーヤード	プロセッサ	トラック

(路網・作業システム検討委員会最終報告から一部改変して引用)

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つつ、傾斜および路網密度と関連づけたものであり、林業機械の進歩・発展や社会経済的条件に応じて変化するものである。地域において、今後の路網整備や資本装備の方向を決めるに当たっては、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経営判断が必要である。「グラップル」にはロングリーチ・グラップルを含む

2 路網と作業システム

路網と作業システムは相互に密接に関連しています。森林経営計画に記入され、予定される路網は、第3章にあるとおり、現在はもちろんのこと、将来の資源状況や施業を勘案して決める必要があります。その際作業システムと路網は、相互に最適な配置やシステムの選択に影響し合います(表5-7)。路網に応じて最適な作業システムを決めるか、作業システムに応じて最適な路網配置を決めるかは、どちらがより強い制約条件を持っているかによりますが、現在地域の林業事業体が通常採

用している作業システムだけでなく、将来を見据えてより効率の良い作業システムに誘導していくという視点がフォレスターには求められます。

3 作業システムの選択の考え方

実際の作業地に応じた作業システムを選択するにあたっては、林地傾斜や路網密度、さらには送電線、下流の養魚場、付近のレクリエーション施設や観光施設等作業が何らかの影響を与える可能性がある施設の位置などの作業地の制約条件をはじめに勘案しなければなりません。さらに土壌支持力が低い場合や林床植生が攪乱に弱い場合は、例え緩傾斜地であっても土壌保護の観点から林内走行型のシステムは避けざるを得ない場合があります。このようなさまざまな条件を考慮した上で、人（事業体の雇用する技能者の数と能力）、機械（保有する機械とレンタル・リース、新規購入、共同購入等の可能性）、作業（皆伐、列状伐採、点状伐採などの仕様）などの現地条件以外の条件を考慮するとともに、路網の新設の可能性、伐採対象木の樹種やサイズ、土場や作業ポイントの配置、運材の方法（仕分けの必要の有無、トラックの大きさ等）の組み合わせによる生産性とコストのシミュレーションを行います。いくつかのパターンのシミュレーションを行い、単純な生産性や収益性のほか、さまざまな条件を比較検討して決定します。フォレスターには、森林施業プランナーや事業体の検討状況に対して情報収集を行い、必要な観点について検討を十分に行って合理的な選択をしているか、改善の方向へ向かっているか、といった視点でアドバイスすることが期待されます。

このシミュレーションでは、丸太の川下までの流れを組み入れることが重要です。具体的には、丸太の仕分けをどこで行うのが最も高く売れ、コストを抑えられるか、つまり収益が高まるか、という視点が重要です。例えば、素材生産者が仕分けをして製材工場、合板工場、チップ工場などへ直送することにより流通プロセスとその経費（市場や卸売りの手数料、横持ち経費）を省くという方法、山元の作業ポイントから仕分けをせずに全量直接特定の需要者（製材工場、市場等）に納入し、機械選別などにより仕分けを行うことにより、狭い山元土場での積み降ろし、仕分け、巻立てのプロセスを省くという方法、さらに一部（例えばチップ用材）だけを工場に直送して、その他の材を市場へ運搬して選別する方法などが考えられます。このような出荷方法の選択肢は、地域における川中（市場・卸）や川下（製材工場、合板工場、チップ工場等）の業態・配置や山土場の作設における制限などによりある程度限定されます。また、この選択肢によってはトラックを作業ポイントまで入れるために林業専用道を中心とする必要があるのか、山土場で仕分けする場合は森林作業道の延長や密度をどうするのか等、作業システム構築の考え方に直結します。一方、現状と比較してより合理的と思われる選択肢があるか他地域の事例なども研究し、出荷先までの距離、方法毎に適したトラックの大きさ、市場の手数料や機械選別などの機能などを勘案してシミュレーションを行い、新たな方法を提案していくことにより、地域の木材資源の競争力を高めることができる可能性があります。

4 作業システムと生産性

以上のような制約条件を満たした作業システムの中から、生産性の高い、より収益が得られるような作業システムを選択、導入します。それでは、「生産性の高い」作業システムを選択するポイントとは、どのようなものでしょうか？

「生産性」とは、通常労働生産性を意味し、技能者1人当たりの素材生産量（ $\text{m}^3/\text{人日}$ ）で表します。人件費はコストに占める割合が高いことから、多くの場合生産性の向上がコスト縮減の鍵になります。通常木材生産は数人のチーム（セット）で伐倒から山土場での巻立てまでを行うので、1人当たりの生産性はセット当たりの生産性と異なることに注意が必要です。つまりセット当たりの生産量が同じでも、セット当たりの人数が異なれば、大きく労働生産性は変わります。基本は、「1セットにふさわしい生産量をより少ない人数で」ということになります。ここで「1セットにふさわしい生産量」とは、プロセッサやハーベスタなど、1人当たりの処理能力が最も大きい機械を中心にセットを考えた場合に生産できる最大の量と考えることができます。

例えば、プロセッサは通常1～2分程度で1本の全木伐倒木の枝払い・玉切りを行うことが可能です。つまり1時間に30～40本、6時間で180～240本程度の処理が可能です。1本当たり0.3 m^3 であれば70 $\text{m}^3/\text{日台}$ 、条件が良い場合、高性能のプロセッサであれば80 $\text{m}^3/\text{日台}$ 以上も可能となります。しかしプロセッサがフルにその能力を発揮するためには、他のすべての工程の処理能力がこの処理能力に釣り合うことが必要です。つまりボトルネックとなるような工程を作らない工夫が求められます。

こうしてプロセッサの能力をフルに発揮させ、1セット1日で72 m^3 を生産した場合、セットの人数が4人であれば18 $\text{m}^3/\text{人日}$ 、8人であれば9 $\text{m}^3/\text{人日}$ となります。プロセッサは1時間に40本処理するので、この処理能力をフルに発揮させるためには、他の工程も時間当たり12 m^3 の処理量を確保する必要があります。このためには、全木伐倒に2人、木寄せにグラップルと荷掛けに2人ずつが必要です。また、プロセッサが造材した丸太を4 m^3 積みのフォワーダでトラックでの運搬が可能な土場まで1時間に3往復する必要があります。積み降ろしにはかなりの時間がかかるので、走行時間を往復12分程度とすると、5 km/hの平均走行スピードであれば平均運材距離は片道500mとなります。このセットで合計8人、セットで72 $\text{m}^3/\text{日}$ 、1人当たりでは9 $\text{m}^3/\text{人日}$ の労働生産性となります。理論的には、以上のようにプロセッサなどセットに1台配置する最も処理能力の高い機械をフルに稼働させる組み合わせを検討することになります。しかし、この例では荷掛けとウインチ（グラップル）の組み合わせの2組が1台のプロセッサに向かって同時に木寄せする必要がありますが、このような作業が可能な箇所は、ほとんどないと言わざるを得ません（表5-8）。

表5-8 (例1)セット当たり8人の場合

	全木伐倒	木寄せ	枝払・玉切り	集材	セット
人員配置	2人	2人+2人	1人	1人	8人
使用機械	チェーンソー 2台	グラップル 2台	プロセッサ	フォワーダ	重機4台
セット生産性 m^3/h	12	12	12	12	12
セット生産性 $m^3/日$	72	72	72	72	72
労働生産性 $m^3/人日$	36	18	72	72	9

注：木寄せは、荷掛けとウインチ操作（グラップル）の2人組を想定

そこで、生産性の高いプロセッサとフォワーダを1人で操作することになると、理論的には同程度の労働生産性を確保することができます（表5-9）。

表5-9 (例2)セット当たり4人の場合

	全木伐倒	木寄せ	枝払・玉切り	集材	セット
人員配置	1人	2人	0.5人	0.5人	4人
使用機械	チェーンソー	グラップル	プロセッサ	フォワーダ	重機3台
セット生産性 m^3/h	6	6	6	6	6
セット生産性 $m^3/日$	36	36	36	36	36
労働生産性 $m^3/人日$	36	18	72	72	9

上記の2例はいずれもすべての作業員が手待ち時間を生じない人員配置になっていることから、同程度の労働生産性となっています。この2例の違いは、機械台数当たりの生産性です。例1では重機がフル稼働するのに対し、例2ではプロセッサとフォワーダが交互の稼働となります。これを機械損料からコストの懸かり増しとみることもできます。理論上の最大の生産性を達成するのは、さまざまな制約条件から難しいのですが、作業員と機械の両方の稼働率がより高まるような合理的な配置を追求することにより、労働生産性の向上や機械損料を含めたコストの低減を図ることが可能になります。これらの2例の生産性を改善するオプションにはどのようなものがあるのか、森林施業プランナーや事業体にアドバイスすると仮定してシミュレーションをしてみます。

木寄せの工程を改善するため、ロングリーチのグラップルを導入して木寄せを1人でまかなうと、1セット3人となり、1人当たりの生産性は $12m^3/人日$ に向上します。このオプションは、森林作業道の配置がグラップルによりすべての伐倒木に届くように設計されていることが必要となります。その際、12tクラスのロングリーチ・グラップルが届くのは作業道の中心から12m程度ですので、伐倒した木をすべて直接つかむためには、 $150m \sim 250m/ha$ の路網密度が必要となること、車両価格が通常のグラップルよりも400万円～500万円程度高くなることも考慮に入れる必要があります。現地の条件によって、路網密度を抑えながら作業の組み合わせを工夫することにより、直接つかめる範囲の外にある材だけをウインチで木寄せするなど、さまざまな工夫が考えられます。

また伐倒作業では、樹高20m以上もある伐採対象木を倒すことから、十分な作業間隔が必要と

なります。このため、木寄せと並行作業をする場合にプロセッサの枝払い・造材工程に見合う複数の伐倒手・荷掛手が安全に作業するためには、接近同時作業を避けるための手待ちが生じるなど、非効率になりがちです。こうしたことを防ぐためには、伐倒をその後の工程と切り離して先行伐倒し、独立した工程とすることにより接近作業による危険を軽減するとともに、手待ち時間を解消して効率の向上につながります。

なおスイングヤード、タワーヤード、集材機などの架線系のシステムの場合は、その架設・撤去の効率が生産性に大きく影響しますので、その移動頻度（ライン当たりの生産量）と架設・撤去にかかる労力（人数×時間）なども考慮に入れて、比較検討する必要があります。例えばタワーヤードのスパンを長くとることができ、その範囲すべてが間伐対象である場合は、架設・撤去にかかる人手・コストが相対的に少なくなります。また架設・撤去の作業に習熟することは、生産性の向上に直結します。さらにタワーヤードに中間支持器の位置をあらかじめ入力でき、その前後の減速運転が自動で可能な機種であれば、架設距離が長い場合であっても、配置人数を増加させることなく効率を高めることができます。

このほか、オートチョーカーを使用して荷外しをリモコンで行うことにより、タワーヤード側はプロセッサのオペレーターが荷外しと枝払い・造材を1人でプロセッサに乗ったまま行うことも可能です。このことにより大幅な効率アップが望めるとともに、急傾斜地での荷外し作業に伴う危険を排除することができます。



写真5-5 先進的な架線系林業機械の例

オーストリア製の牽引式タワーヤード。リモコンによる運転や中間支持器での自動減速が5箇所まで可能。

第6章

地域における 作業システムの構築

1 地域における作業システムのモデルの構築

これまで述べた通り、作業システムは多様で、最適な作業システムは、各事業者さらには各事業地により異なるものになります。また機械を購入して作業システムを変更する場合などは多額の投資が必要となるので、事業者の経営判断の範疇に入るものです。

しかしながら、事業者固有の条件を除けば、地形、地質、森林の分布、所有形態や樹種・齢級構成、木材流通・加工業の状況など、条件を共有できる一定の広がりを持つ地域でこうした条件下で効率的な木材生産が可能となるいくつかのモデル的な作業システムを示すことは、事業者にとってばかりではなく幅広い関係者にメリットがあります。具体的な例を挙げると、作業システムは路網と密接に関連がありますが、林道や林業専用道は、市町村など地方公共団体が主体となって開設・維持・管理を行います。作業システムのモデルを地域で策定する際には、市町村が参加することにより、路網にあった作業システムのモデルを策定したり、作業システムのモデルを勘案した路網整備を計画したりすることが可能となります。また作業システムのモデルは、短・中期的な林業機械の需要を押し量る根拠になり、レンタルやリースの業界にとっては、作業システムが求める機械を整備しやすくなります。

このような地域における作業システムのモデルを策定するに当たっては、林業事業者、森林所有者、地方自治体、研究機関などの関係者の参画を得て、森林資源のもたらす便益を最大限に活用することを目的として検討します。その際に、森林経営の持続性を実現することを意識して、間伐だけでなく主伐後の更新経費もカバーできるよう、直接的な木材生産コストや売上げだけでなく、山土場以降の流通コスト（運賃、手数料等）も勘案したトータルの収益性を検討するとともに、主伐の計画を策定する際には、更新作業の効率化も勘案する必要があります。関係者はえてしてそれぞれの日常の経済活動を中心とした立場に立ちがちなので、フォレスタは総合的な得失や短期的なメリットだけでなく中・長期的な林業のサイクルも見据えた戦略として、作業システムのモデルと路網計画を策定することが望まれます。

2 作業システムのPDCAサイクル

PDCAサイクルは、作業システムのモデルにも適用させることが必要です。地域で作業システムのモデルを定めて関係者に周知した結果、どのような変化が生じたのか、具体的には林業事業者の作業システムがどのように変わり、その結果生産性、コスト、機械の稼働率、作業性などはどのように変化したのか、路網とのマッチングはどうだったのか、環境スポットを運材トラックが騒音や埃をあげて通行したり、集材架線が景観に支障を与えるなど環境や観光産業などへの影響はどうだったのか等を検証し、必要に応じてモデルを加えたり、修正したりすることが必要です。また伐採対象木の構成、作業地の条件、木材流通・加工等の変化があった場合や新たな林業機械が選択可

能となった場合に、それまでのモデルを見直す必要があるか、などを定期的にチェックすることで、その時々で最も合理的で有利なシステムを選択できる情報を共有することができます。このような取り組みは、地域の林業関係者の意識を高め、地域の林業全体の底上げにつながるるとともに、情報交換や意見交換を通じて流通・加工部門と川上の関係が強化され、川上から川下までを視野に入れた地域戦略に発展することも可能となります。フォレスターは、このような枠組みを提案、構築、運用する際の核となることが期待されます。

コラム

需要構造を踏まえた木材生産と販売

柱目や無節など化粧性の高い柱材を中心とした木材が求められる市場から、大壁工法の構造材や合板・ボード類などいわば原料としての木材へと市場のニーズがシフトして久しくなっています。このことを背景として一般的なスギ丸太のAからC材までの価格差が縮まっていることや、曲がり材を効率よく製材する加工機械の進歩とスギを活用した新たな製品の開発などによりB材の用途が拡大するなど、スギ材の需要構造は引き続き大きく変化しています。こうした流れを受け、九州地方のI木材市場では、素材生産現場等と連携し、マーケットの変化に対応して造材や流通販売方法の改善を図り、森林所有者への還元の増大に取り組んでいます。

従来は直材生産のみを目的とした造材であったことから、材の曲がりを除くために短尺材や端材を造材してきましたが、曲がり部分を含めて3mや4mに造材し、その曲がり材（B材）を加工することができる工場に、山元から直送するようにしました。この取り組みによって、比較的林齢の若い間伐林分においては造材歩留まりの向上が図られるとともに、材の曲がりにこだわらずに造材できることから、プロセッサの性能をより発揮することができ、造材経費の低減も期待できます。また、山元と需要者を直接結ぶことにより、流通経費の低減も図ることができます。

このように、木材市況のほか、地域における住宅産業や木材加工工場がどのような材をどのような価格でどれだけ量を求めているのかなどを的確に把握し、素材の生産から流通までのプロセスを考えることにより、林業従事者の所得や森林所有者の手取りの向上につなげることができます。

第7章

コスト計算と機械の能力

第7章は「平成21年度 施業集約化・供給情報集積事業『提案型集約化施業テキスト』第3部第4章」を一部編集し転記しています。

1 生産性と採算性のバランス

第4章～6章で作業システムと生産性について分析してきましたが、これをコスト面からも分析することが不可欠です。いくら生産性が高くても、機械を揃えるのに費用がかかりすぎて採算が取れなければ、絵に描いた餅になってしまうからです。

コストについては、まずは年間ベースで算出し、それをまかなうために必要な事業量を設定する必要があります。

なお、簡略化のため、コスト計算の対象は、伐倒－造材－集材（トラックが入れる林道端まで）までとし、作業道の開設やトラック運材費、市場手数料などは考慮に入れていません（実はこの費用も大きいのですが）。また、現場作業にかかわる直接事業費のみを対象とします。調査費も含めた間接事業費は、直接事業費の4割と仮定して話を進めます。

2 年間経費を賄えるだけの事業量を達成できるシステムかどうか

現場技能者が通年で作業に従事して、購入（またはレンタル）した機械を使えば、年間で必ず一定の経費が発生します。これを賄うためには、事業量を確保し、一定以上の売上げを達成する必要があります。

これは、製造業で「予算管理」と呼んでいる、年間事業計画のことです。その点で、木材生産は、木材（丸太）の製造と考えることができます。木材生産の年間事業計画とは、現在の材価や補助金、森林所有者への返却金も想定しながら、想定する作業チーム（現場技能者数・機械の台数）でどれくらいの素材生産量が最低限必要かを計算することです。

この必要事業量を計算したら、想定する作業システムが、そもそもその事業量を達成できるかを考えなければなりません。達成できれば黒字になり、できなければ赤字になるということです。

3 年間必要事業量の計算方法

間伐の場合、現場作業でかかる直接事業費の多くは、人件費と機械経費です。まず、前述の作業システムの中で一番シンプルな事例として、1チーム（現場技能者4名）が専用でハーベスタとフォワーダを使用した場合の年間事業費を計算します。

人件費は、日額の日当・手当てに加えて、事業体で負担する社会保険料も含めた総額の人件費とします。日給月給制で、4名とも日当と手当ての合計が16,000円/人日、これに社会保険料25%を加えて、日額総人件費を20,000円/人日とします。仮に、利用間伐を年間200日行う計画であれば、

このチームの年間の総人件費は1,600万円（4名×200日×20,000円/人日）となります。

一方、機械経費は、減価償却費、維持管理費、燃料費の合計です。例えば、購入価格800万円のフォワーダを5年で償却する場合、各年度に均等に振り分ければ年間160万円の減価償却費となります。

また、購入から廃棄までに購入価格と同額の修理費がかかると想定すれば、同様に年間160万円の維持修理費がかかります。さらに、1日当たりの軽油消費量が30ℓ、軽油単価100円/ℓ、年間の想定運転日数150日とすると、年間の燃料費は45万円となります。そして、これらを合わせると、フォワーダの年間経費は365万円となります。

同様に、ハーベスタについても年間経費を計算し、これらを合計したのが表5-10です。総人件費と機械2台の経費で年間約2,700万円かかることとなります。なお、ハーベスタについては、購入価格を2,000万円、見込みの修理費を購入価格の半分で計算しました。

表5-10 現場技能者4名+ハーベスタ・フォワーダの年間の直接事業費

(単位：万円)

費用の項目		費用	備考
現場技能者総人件費		1,600	4名×200日×20,000円/人日
フォワーダ経費	減価償却費	160	購入価格800万円÷5年
	維持修理費	160	購入価格800万円×100%÷5年
	燃料費	45	(軽油) 30ℓ/日×100円/ℓ×150日
	小計	365	
ハーベスタ経費	減価償却費	400	購入価格2,000万円÷5年
	維持修理費	200	購入価格2,000万円×50%÷5年
	燃料費	118	(軽油) 70ℓ/日×100円/ℓ×150日
			(オイル) 3ℓ/日×300円/ℓ×150日
小計	718		
直接事業費		2,683	

また、森林施業プランナーが施業地のとりまとめや調査をする費用や事務所経費など、間接的にかかる費用を、簡略化のため直接事業費の4割とします。この場合、間接事業費は1,073万円（2,683万円×40%）となり、直接事業費と合わせた年間の総事業費は3,756万円となります。

次に、木材の売上げや補助金、森林所有者への返却金、木材の運搬費用（外注）の差引きから、事業単価を見積ります。ここでは、表5-11のように、事業単価10,000円で、年間の総事業費をまかなうものとします。

年間総事業費を事業単価で割ると、年間必要事業量が計算できます。この事例では、3,756m³/年となります。ここで、人件費は年間200日で計算していますので、総人工数800人日から、1人1日当たりの必要生産性は4.7m³/人日となります。林分条件の良し悪しもありますが、年間を通して最低限この生産性を達成できれば、森林所有者も事業体も適度に利益を得ることができます。

- 年間必要事業量 3,756m³ = 年間総事業費3,756万円 ÷ 事業単価1万円/m³
- 必要生産性 4.7m³/人日 = 年間必要事業量 3,756m³ ÷ 800人日

表5-11 事業単価の見積り

収入等および費用の項目		m ³ 当たり単価
収入等	①木材売上(手数料等控除後)	9,000
	②補助金(m ³ 当りに換算)	4,000
	③木材売上+補助金(①+②)	13,000
費用	④所有者返却金	1,000
	⑤木材運搬費(外注)	2,000
	⑥小計(④+⑤)	3,000
	⑦事業単価(③-⑥)	10,000

4 スイングヤーダ・プロセッサ・フォワーダを使った年間事業計画

続いて、現場技能者5名でスイングヤーダ・プロセッサ・フォワーダの、いわゆる3点セットを使用した場合の年間事業計画を見てみましょう。

表5-12 現場技能者5名+3点セットの年間の直接事業費

費用の項目		費用(万円)	備考
現場技能者総人件費		2,000	5名×200日×20,000円/人日
スイングヤーダ 経費	減価償却費	360	購入価格1800万円÷5年
	維持修理費	108	購入価格1800万円×30%÷5年
	燃料費	75	(軽油) 50ℓ/日×100円/ℓ×150日
	小計	543	
プロセッサ経費	減価償却費	400	購入価格2,000万円÷5年
	維持修理費	200	購入価格2,000万円×50%÷5年
	燃料費	118	(軽油) 70ℓ/日×100円/ℓ×150日 (オイル) 3ℓ/日×300円/ℓ×150日
	小計	718	
フォワーダ経費	減価償却費	160	購入価格800万円÷5年
	維持修理費	160	購入価格800万円×100%÷5年
	燃料費	45	(軽油) 30ℓ/日×100円/ℓ×150日
	小計	365	
直接事業費		3,626	
間接事業費		1,450	直接事業費×40%
総事業費		5,077	直接事業費+間接事業費

この場合、年間必要事業量は $5,077\text{m}^3$ となります（総事業費 $5,077$ 万円 \div 事業単価 1 万円 $/\text{m}^3$ ）。また、1人1日当たりの必要生産性は $5.1\text{m}^3/\text{人日}$ となります。さらに、機械の想定運転日数 150 日から考えると、各機械の1日当たりの処理量は $33.9\text{m}^3/\text{日}$ となり、図表9（『提案型集約化施業テキスト』第3部 第3章参照）の想定値（ $25\text{m}^3/\text{日}$ ）を大幅に上回ります。

仮に、各工程の生産性を $25\text{m}^3/\text{日}$ に固定すると、各機械は年間 203 日稼働しなければ必要事業量に達しません。実際には、機械は回送や修理、現場に置いてあるが動かない日もあるため、現実の生産性では年間必要事業量を達成しえないことがわかります。

なお、機械の購入に補助金が出ている場合、年間必要事業量は減価償却費の低減分だけ少なくなります。ただし、補助が出ていたとしても、機械の購入に際してはこのような事前設計が必要であることに変わりはありません。表5-12の事例では、機械の購入に 100% の補助が出た（償却費ゼロ）と仮定しても、採算は取れません。

購入した機械を使ってから後悔しては後の祭りですので、まずはデモ機やレンタル機での試用や、先進地の視察などを経て、購入するのが良いでしょう。

5 スイングヤードとプロセッサを使った年間事業計画

最後に、フォワーダを使わずに、林業専用道へ運搬用トラックがそのまま入ってくる場合の作業システムについて検討します。使用する機械は、スイングヤードとプロセッサ、土場用のミニグラップルの3台です。

フォワーダでの集材作業がなくなった分、機械の年間運転日数を 160 日としています。年間必要事業量は $4,276\text{m}^3/\text{人日}$ 、1人1日当たりの必要生産性は $5.3\text{m}^3/\text{人日}$ です。

また、各機械の1日当たりの処理量は $26.7\text{m}^3/\text{人日}$ となり、フォワーダを使う場合よりも低くなっています。想定値よりも若干高い生産性が必要となりましたので、やはり集材工程が事業量達成のカギとなります。

表5-13 現場技能者4名+3点セットの年間の直接事業費

費用の項目	費用 (万円)	備考	
現場技能者総人件費	1,600	4名×200日×20,000円/人日	
スイングヤーダ 経費	減価償却費	360	購入価格1800万円÷5年
	維持修理費	108	購入価格1800万円×30%÷5年
	燃料費	80	(軽油) 50ℓ/日×100円/ℓ×160日
	小計	548	
プロセッサ経費	減価償却費	400	購入価格2,000万円÷5年
	維持修理費	200	購入価格2,000万円×50%÷5年
	燃料費	126	(軽油) 70ℓ/日×100円/ℓ×160日 (オイル) 3ℓ/日×300円/ℓ×160日
	小計	726	
ミニグラップル 経費	減価償却費	100	購入価格500万円÷5年
	維持修理費	50	購入価格500万円×50%÷5年
	燃料費	30	(軽油) 20ℓ/日×100円/ℓ×160日
	小計	180	
直接事業費	3,054		
間接事業費	1,221	直接事業費×40%	
総事業費	4,276	直接事業費+間接事業費	

6 現場作業の体制

これまでの事例では、あくまで簡略化のために、1チームの人数を固定し、そのチームが機械を専用で使うことを前提に検討しました。

ところが、実際には現場技能者4名が林業機械2～3台を占有するのは現実的ではありません。伐倒や、さらには作業道の開設作業なども含めると、ある程度状況に合わせて施業地に入る技能者の人数を調整することも、低コスト化を実現するためには重要です。

1作業班の人数を固定することは、ある日は人手が足りず、別の日には手持ち無沙汰になりかねません。これは、施業地の面積が小さければなおさらで、隣接作業であれば危険も増します。工程管理には、このような現場の状況に応じた人数の微調整も含まれます。

また、生産性という数値は、第一に作業システムで決定されるため、現場技能者が一生懸命働けばその分だけ数値が上がるとは限りません。これまで見てきた通り、事前の機械選定と組み合わせが非常に重要です。

さらに、生産性は、現場技能者の作業の結果ですので、日頃の連絡と情報共有の下、技術や作業効率の向上を目指す雰囲気ある職場づくりも大切です。その点で、単に作業日報を現場から出してもらえば十分というわけではありません。関係者の情報(データ)の共有と、ムダを省くための日々の工夫の積み重ねが生産性向上のカギとなります。

7 間伐生産性・コスト分析シートについて

森林施業プランナー研修の「全国提案型施業定着化促進部会」では、平成19(2007)年度に「間

伐生産性・コスト分析シート」を作成し、事業体が木材生産の年間計画を立てたり、施業地ごとのコスト計算ができるソフトを配布しています。

本テキストでは機械経費の詳細の説明は省略していますが、この点については「間伐生産性・コスト分析シート 使い方マニュアル」をご参照ください。

◇間伐生産性・コスト分析シート お申込み先

(提案型集約化施業ポータルサイト)

<http://www.shuuyakuka.com/about/cost/>

※使用同意書の内容をご了解の上、必要事項を記入して送信ください。