

モノレールによる間伐材搬出実験の成果

島崎洋路・高橋祐吉・千葉一郎

信州大学農学部林学科

はじめに

昭和30年代中頃から、わが国林業における集運材の方法や体系は、架空索道や集材機の普及・発達、大型土木工事用機械導入による林道開設の発展、大小の林内作業車両の開発などによって、いちじるしい進展が図られてきた。

これらの集運材体系の大宗は、大面積的な天然林の開発や皆伐方式による人工林の主伐時に適用されて発展してきたもので、第2次大戦後いちじるしく拡大してきた大面積的な人工林で必要にせまられてきた間伐材の搬出体系としては、そのまま適用しにくいものが多く、間伐の規模が大型化してきた昭和40年代に入る頃から、間伐材の搬出方法やその体系について、各地でいろいろな検討・工夫が積み重ねられてきている。

現在わが国で採用されている間伐材搬出の主な方法を挙げると、

- ① 在来型の人畜力による集運材を余儀なくされる場合をはじめとして
- ② 林道や作業道上を移動する車両に装着されたウインチによる引寄せ集材法
- ③ デルピスや林内作業車による集運材法
- ④ 特殊スナッチを利用した林内ジグザグ索張集材法
- ⑤ 架空索張方式の組合せによるアベックキャリヤ集材法

などが考案されてかなりの効果を挙げているし、最近なお小規模集運材のための搬器類や索張方式などについて斬新な考案・開発も行なわれるようになってきている。

しかし、林道密度がひくく、急斜複雑な地形の多いわが国の一般的な拡大造林地域での林内集運材方法については、未だ効果的な方法を残念ながら見出すことができず、広大な間伐対象林分をかかえた各地で、間伐材の搬出に頭を悩ませているのが現状である。

今回モノレールによる間伐材の搬出に着目したのは、以上のような多様な集運材方法のひとつとしてであって、隘路の多い林内集運材方法のかかなりの部分が解消できるのではないかと考えたからである。モノレールはすでに土木工事やミカン山などで実用されており、この運搬手段を単にモノレールを使用するという次元に止まらず、機構の改良なども含めて、林内集運材手段としての可能性と限界を見極め、「モノレールによる間伐材集運材方法の体系化」を図ろうとするものである。

モノレールは

- ① レールが地上設置で組立て解体が容易であり、敷設・撤去に特殊技術を必要としない。
- ② 脱線、転覆の危険がない。

- ③ 無人運転で、レールの組立て解体に必要な資材もモノレールの自走によって運搬できるため、小人数でレールの敷設・撤去や運材が可能である。
- ④ 20° ~ 30° の傾斜地でも上げ荷、下げ荷が可能である。
- ⑤ せまい通路で運行できる。
- ⑥ レールの延長により、林道端からかなり隔たった地点からの運材が可能である。
- ⑦ 林地・林木や積荷をいためることが少ない。

などの利点をそなえているため、林業用としても充分利用が可能であると考えられた。

現在モノレールの試用段階で欠点と考えられる点は、

- ① 設備費がかさむ。
- ② 耐用年数や償却費が不明（今回用いた機種は土木用として開発され実用されていることから、より軽量輸送の木林運搬にはかなりの耐久力があると考えられる）。
- ③ 1回の積荷量に限界があり、低速運転のため、あまり長距離運搬では不利をまぬがれない。

などであるが、利用上致命的な欠陥ではないので、これらの限界を承知の上で有効利用を図りたいと考えた。

モノレールを林業用に採用しようと考えたもうひとつの契機は、かつてわが国に定着していた木馬運材の見直しである。

木馬の歴史やその効用についてはここに述べるまでもなく、長くその機能を発揮し、“木馬引き”は当時大径材伐採の柚夫と並んで特殊技能者として扱われ、林業労務のなかで高給で処遇されていたことは記憶に残されている。

われわれは今も山歩きの途次、各所に木馬道の名残りを見出すが、木馬運材は昭和30年代半ばにその姿を消し、すでに20年近くを経たが、現在木馬の性格をそなえるこれに代る運材方法は見当たらない。今回の実験を含めて引続き計画しているモノレールによる集運材体系の検討は、モノレールという搬出手段の林業への実用化を図ることのほかに、傾斜・地形が複雑でひくい林道密度の林分に、また歩道さえも充分でない大面積的な人工造林地に、ha当たり100mに余る林内管理用の歩道を設け、林分手入れの効率化を図りながら、この歩道に敷設したレールを木馬道に、またけん引車ならびにこれに連結した台車を木馬引きや木馬になぞらえて、林業経営にとって欠くことのできない林内小運搬を改めて重要視していきたいとの考えに基づくものである。

この報告は、間伐材の搬出に適當と思われる機種を選んで、本学手良沢山演習林内で1回モノレール運材への習熟を兼ねて、レール敷設用林内歩道の開設工程、レールの敷設・撤去の手順、傾斜地での木寄せ方法、モノレールの積載能力などの検討を行ない、引き続きその成果に基づいて、下伊那郡高森町出原区有林の間伐現場で、2回にわたり主にレール敷設・撤去の工程、モノレールの運材能力についての検討を事業的規模で実施し、その成果をとりまとめたものである。

I 試験の内容

今回のモノレールによる間伐材の搬出実験は、次の2ヶ所において昭和53年秋期、前後3

回にわたり実施した。

1 試験地の概況

(1) 手良試験地

第1回目の実験地で、伊那市の北東15kmに在る本学付属手良沢山演習林8林班は小班に設定した。天竜川の支流棚沢川の源流にあたり、試験区は沢山林道終点付近に開設された実験林道を約200m上った地点で、対象面積は0.53ha、南西に面した20°～35°の傾斜地で、標高1300m前後、表層土壌は厚く、風化した碎石状の基岩を含む火山灰土壌である。

林相は付近一帯に広がるカラマツ林の一部で、尾根筋に天然生のアカマツが点在する。林齢19年生、平均胸高直径11.1cm、平均樹高10.4m、立木本数1825本/ha、蓄積106.8m³/ha、で、やや生育は悪い。過去7～8年前につる切・除伐が行なわれているが、樹幹の形質不良木が目立った。

(2) 出原試験地

第2および第3回目の実験地で、下伊那郡高森町出原地区の区有林内約4haの間伐実行現場に設定した。天竜川右岸の河岸段丘上に広がるアカマツ林地帯に属し、標高約800m、東面4°～18°の緩傾斜地で、地表は厚い火山灰土壌に覆われ、粗腐植が厚く堆積している。

林相は25～35年生のアカマツ天然生林で、対象面積の約30%はかつて上木の除間伐が行なわれた林内に、天然生のヒノキ下木が発生し、2段林相を呈している。アカマツの純林部分はほとんど人手の入っていない過密林分で、枯立木が目立つ。林相区分によるプロット調査の結果は表－1のとおりで、林分構成上3つに大別し、それぞれに異なった指針を与えて間伐を行なった。

表－1 出原試験地の林分調査

林相区分 単位			アカマツ純林		アカマツ・ヒノキⅠ		アカマツ・ヒノキⅡ			
			アカマツ	枯立木	アカマツ	ヒノキ	アカマツ	ヒノキ		
								大	中	小
直 径	範 囲	cm	8~22	—	10~26	2~6	12~26	6~18	—	—
	平 均	cm	14.24	—	17.25	—	17.92	10.85	—	—
樹 高	範 囲	m	10~17	—	10~15	1.5~7	9~14	8~11	1.2~8	1.2下
	平 均	m	14.08	—	12.54	—	11.21	9.86	—	—
立 木 本 数		本/ha	2622	623	1231	6256	1067	622	5110	2222
材 積		m ³ /ha	344	—	191	—	152	32	—	—

2 間伐の方法と採材

(1) 手良試験地

この試験地が所属するカラマツ林分は、疎仕立による林分管理を指向しているので、現在林分平均樹高約10mで1800本/haの立木密度を1200本/ha程度に落すこととし、平均幹距2.9mを基準にして樹幹の不良木ならびに立木配置を考慮して間伐木を選定し伐倒した。

採材は、間伐木のほとんどが小径材の利用上最も有利な土木用杭材の適寸であったため、

表一2に示すような市場性のある採材基準によって行なった。なお杭丸太用に仕向けたため、採材は直材採取を原則とし、いちじるしい曲り材や被害木は切捨てたため、利用率は50%以下に低下した。

(2) 出原試験地

比較的明らかな林相区分が可能であったため、これによって次のような2通りの間伐方式を採用した。

アカマツ純林部分は、所有者の意向によって良質大径材生産を目標とすることとし、この地方の林分収穫表やアカマツ林密度管理図などを参考に表一3のような予測表を作成し、間伐木選定の基準とした。

表一2 カラマツ小径材の採材基準

採材基準		市場価格(参考)	
長級	径級		
m	cm	円/本	円/m ³
2	3~5	50	15,000
	6~8	120	13,000
	9~11	200	11,000
3	4~5	100	13,000
	6~8	200	16,000
4	4~5	150	15,000
	6~8	310	18,000

表一3 アカマツ林の生長予測と間伐指針

平均樹高	m	10	15	20	25
立木本数	本/ha	2700	1600	950	700
平均直径	cm	10	16.5	26.0	32.5
推定林齢	年	20	30	44	62

注；市場価格は演習林売払実績(1978年12月)による。用途は土木用。

アカマツとヒノキの2段林相を呈している部分に対しては、所有者から特に意向が示されなかったので、近隣ですでに好成績をおさめている2段林施業を参考に表一4に示す2段林間伐指針表を作成し、これに基づいて間伐を行なった。なお間伐木の選定および伐倒はそれぞれ森林組合職員および労務班が担当した。

表一4 アカマツ・ヒノキ2段林の生長予測と間伐指針

	単位	アカマツ ヒノキ		アカマツ ヒノキ		アカマツ ヒノキ	
平均樹高	m	10	2.0	15	10.7	20	16.3
立木本数	本/ha	900	1800	480	1280	280	1150
平均直径	cm	14.6	3.5	23.6	13.0	31.5	19.0
推定林齢	年	20	5	42	27	65	50

この地域では、森林組合の販売ルートが確立されていたので、その指示に従って表一5に

表—5 アカマツ材の採材基準

採 材 基 準		用 途	市場価格 (参 考)
長 級	径 級		
2	m		円/m ³
	6上	パルプ用	10,500
	6～8	土木用杭	12,000
3～4	8～14	土 木 用	14,000
	16～26	梁 用	19,000
	8～13	土 木 用	16,300

注；市場価格は森林組合売払実績（1978年12月）による。

示すようなきめ細かな採材が行なわれ、有利な販売が行なわれた。

3 運材手段の選択とその仕様

はじめに述べたように、今回はいろいろと隘路の多い間伐材の集運材の運材部門にモノレールを活用してみようという意図のもとに出発した。間伐問題の主要課題に間伐材の集運材工程が挙げられ、現実に関伐実行の成否を大きく左右している。間伐材の集運材は、林内に散在する少量の木材を集めて山土場まで搬出する作業であるため、主伐時と比べてどうしてもコスト高になるし、技術的にもめんどろな作業を強いられることが多い。

間伐材の集運材体系を検討している過程で、木馬運材を再認識し、モノレールによる代替を発想したのであるが、モノレールに関する予備知識を集積するに及んで、かなり有効な林内運材手段たり得ることが認識された。これを実証するため次のような考えで機種を選択し、今回の実験を試みた。

(1) モノレールの機種の選択

モノレールは一本のレールまたは走行桁に沿って走行し物資を運搬する装置で、跨座式（騎乗式）と懸垂式とがある。モノレールは一般的に建設費が低廉で路線用地が少なく済むなどの理由で、将来の運送手段として注目されるようになってきた。

林業用モノレールとしては勾配やカーブに対応しやすく、木材の積み降ろしに便利な跨座式が推奨される。現在市販されている機種としては、モノラック（ニッカリ）、ジェットポーター（日本産業機械）、モノレールKM-401型（共栄産業）など10数機種が挙げられる。

今回は機構・運搬能力などから、間伐材の搬出に適当な機種として“ウッドキャリー”（カホ林業用モノレール；嘉穂製作所）を採用した。

この機種の特長としては

- ① レールの組立て、解体が簡単で特殊技術を必要としない。
- ② 接地部にとり付けられたジャッキベースにより、地盤の押圧・沈下などの変化に対応しやすい。
- ③ 小型の割合に積載量が手頃である。

などが挙げられる。

(2) モノレール（ウッドキャリー）の仕様

このモノレールの構成は、けん引車、台車、レールの3つの部分に大別される。

i) けん引車

けん引車は台車を連結してレールの上を自走する車両である。傾斜地ではレールにチェーン式ラックを取り付け、けん引車に装備した歯車によってチェーンをかみ、上り下りともに安全に走行できる構造になっている。エンジンの出力は4.5～7.0PSと小さいが、走行速度が50～60m/minとおそいので、けん引能力はメーカーの仕様によると表—6に示すようになりに大きい。ブレーキは常用ブレーキと非常用ブレーキを備え、非常用ブレーキ

表—6 ウッドキャリーのけん引能力

勾配(度)	5	10	15	20	25	30	35
重量(kg)	3300	1730	1125	800	600	470	380

(台車の重量含む)

は走行中のエンジンストップや暴走時に作動する電磁ブレーキが採用され安全性が確保されている。

ii) 台車

台車はレールの上をけん引車によってけん引走行される積荷用車両で、傾斜地では負荷の制約があるため2両連結程度が取扱いやすいが、レールの勾配が緩い場合には数台の連結も可能である。

今回の実験では工事用小型モノレールの台車を林業用に改造試作したもので、各台車に長尺の木材運搬用のターンテーブルを装着し、これを2両連結して使用した。

ターンテーブルは連結した2両の台車に長材を積載してカーブや勾配の箇所を通過する際、円滑に走行できるように装着したもので、荷台と台車の接合部にボギー構造がとり入れられている。

なお短材運搬の場合には車台に補助荷台を試作して取付け、単一の台車毎に積荷し、作業手順によってこれらを1両あるいは2両連結して運行した。

iii) レール

レールは鉄製の角型パイプを梯子型に組立てたもので、直レールのほかに曲りレール、勾配レールがある。

レールの敷設延長は、これらのレールを地形に応じて組合せ連結していく。直レールによっても、その接合部で5°程度までの屈折は可能であったため(曲りや勾配レールは1本当たり約15°の方向変換用に作られている)、微調節用に1mおよび1.5mの短尺直レールを試作し使用した。

レールの連結には専用の台枠および継手金具(ペーシー)を用い、ジョイントはいたって簡単に行なわれる。台枠はレールのジョイントと同時にその安定性を保つもので、台枠の両端に取り付けられたジャッキベースによりレールの垂直調整と足場の確保が図られる。

今回用いたモノレール各部の仕様ならびに部品の目録は、図1～3および表—7のとおりである。

4 モノレールの作業仕組の検討

木材の生産に当たっては、生産経費に占める搬出費の大きさが事業の成果を左右する最大の要因となる。したがってそれに要する手段の選択と作業仕組に関心が払われるのは当然である。

ここでは搬出手段の運材部門にモノレールを採択し、その作業手順や工程について実践的な検討を行なった。

(1) レールの敷設・撤去

モノレールを用いて運材を行なう場合、他の搬出手段と最も異なる点は、レールの敷設・

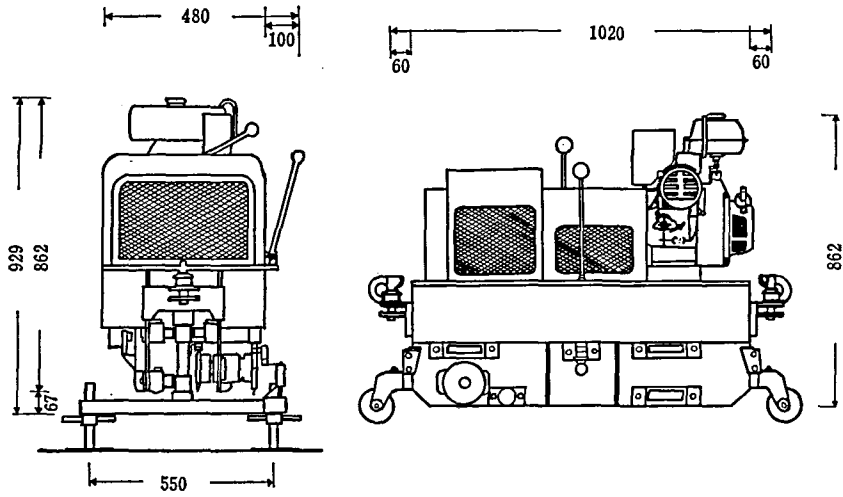


図1 けん引車

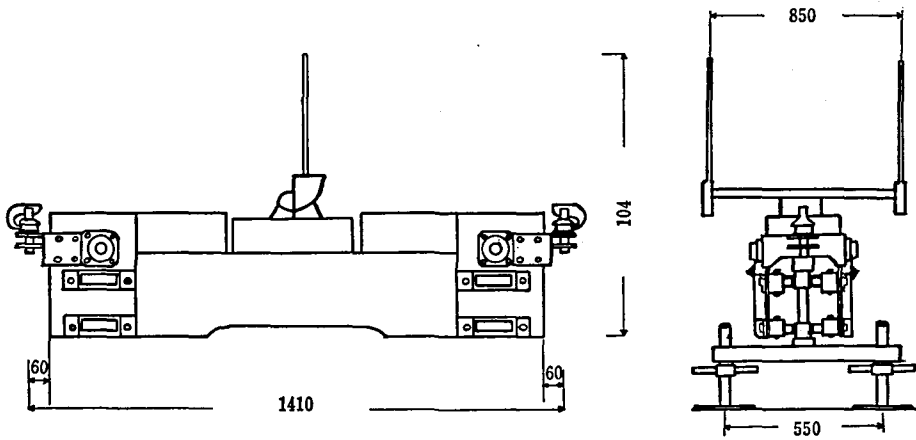


図2 台車

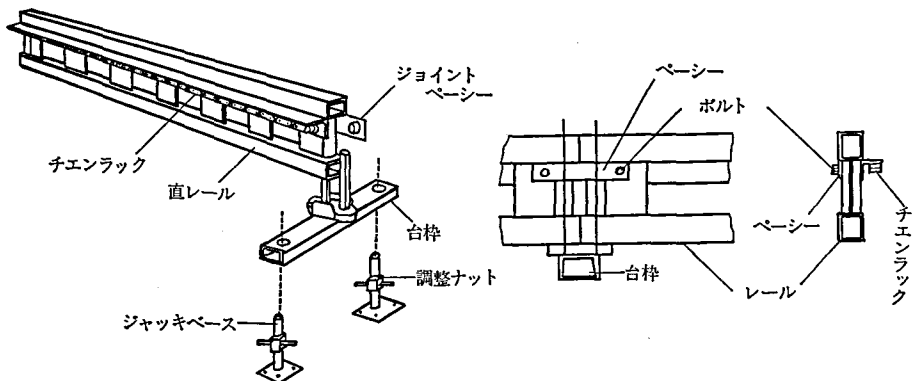


図3 レールと付属部品

表一7 ウッドキャリアの本体及び付属部品

部 品 名	寸 法 cm	重 量 kg	数 量	備 考
けん引車	102×48×93	300.0	1	型式 KED-2S
台 車	141×85×104	85.0	2	型式 KS-20
ターン・テーブル	36	36.0	2	
直レール 1	300	23.0	50	
〃 2	300	30.0	27	
〃 3	150	15.0	4	
〃 4	100	10.5	4	
曲レール	130	10.0	10	曲率半径5m, 変向角15°
勾配レール	130	10.0	10	〃 〃
直チェーン・ラック 1	300	13.0	50	直線レール, 300cm用
〃 2	300	13.0	27	〃 〃 〃
〃 3	150	6.0	4	〃 150cm用
〃 4	100	4.0	4	〃 100cm用
右曲チェーン・ラック	130	5.8	6	右カーブ用
左曲チェーン・ラック	130	5.8	6	左カーブ用
上勾配チェーン・ラック	130	5.8	5	上り勾配用
下勾配チェーン・ラック	130	5.8	5	下り勾配用
台 枠	60	7.0	91	
ジャッキ・ベース	14×14×2	1.5	182	
連結棒 1	57	4.0	1	
〃 2	127	8.0	1	
レール・ストッパー	25	1.8	2	
ストライカー	35	3.0	2	
ペーシー	20	0.3	217	
継手金具		0.2	126	

総延長, 直レール241m, 曲レール13m, 勾配レール13m, 計287m

撤去工程である。この工程があまり複雑で手のかかる作業では、モノレールを林業用には利用しにくい、次に述べるように本機種のレールの取扱いはきわめて簡単で素人にもなじみやすく、他の搬出手段と比べて勝れていることが認められた。

レールの敷設・延長に先立って、モノレールは運搬車両に積み込む時からけん引車をレールに跨がせたまま運搬し、林道端に設ける予定の山土場付近で、運搬車両の荷台から直ちにレールの連結を始めて接地させ、数本のレールを延長し、これにけん引車を自走させて地面に降し、けん引車の先に台車1台をセットする。以降レールの延長は、台車にレール、台枠、ジャッキベースなど敷設に必要な資材を適宜積載し、けん引車によって既設レールの先端まで運び順次レールを組立てながらこれを繰返し敷設を終る。

台枠にとり付けられたジャッキベースの接地部が軟弱な場合には、地面の突き固めや支持杭、枕木（現地調達）などで沈下を防ぐ工作を施し、レールの安定と垂直調整を図る。またレールの勾配が6～7度を超えると、レールの自重や積載荷重によってレールが下方にずれる力が働らくので、レールを固定するため6mm程度のワイヤロープなどで確実にアンカー

をとる必要がある。

なお山土場付近に仮設したレールは、運材に先立って土場の有効利用が図られるよう組直して使用する。

レールの撤去は敷設時と逆の手順で解体・撤収すればよく、敷設時と比べて作業は簡単である。

(2) 搬出路線の設定

モノレールの特長である①狭い通路で物資運搬が可能（接地面で巾60cm，台車の積荷巾約70cm），②下げ荷ばかりでなく，同量の上げ荷も可能，③カーブレールや勾配レールで方向や傾斜変換が可能である，などの利点を活かして集材効率のよい路線を選定することができる。

一方自走式モノレールは，けん引車の駆動輪とレール面の摩擦抵抗，あるいはレールに取り付けられたラックと駆動歯車のかみ合せによって走行する機構上，傾斜によって積載能力に制約があり，レールの勾配が強くなるほど積載量は低下する。メーカー仕様によると表6のようなけん引重量が示されているが，予備実験によると，カーブや勾配レールを含んだ傾斜地では，台車2台の自重を含めて1,000kgの積荷（丸太材積にして約1m³）の場合12～13°以上になると，けん引車にかなりの負荷がかかったため，積荷をできるだけ満載して走行させることを前提とすると，レールの勾配は10°前後以下に制限しておくことが得策と考えた。

手良試験地では林内の山腹傾斜が20°～35°にわたり，林内歩道も皆無であったため，あらかじめ間伐材の集材効率をできるだけ高められるような位置を選んで，等高線をよぎりながら順勾配10°以下の作業歩道（巾60cm前後）を開設し，この歩道にレールを敷設し，同時に間伐作業時の通路としても利用した（レール撤収後，この路線は林内管理歩道としてそのまま利用できる）。

出原試験地は地形条件がよかったので間伐作業を先行させ，その後残存立木を縫いながら伐倒木が多く木寄せしやすい地点を選んで林地面に直接レールを敷設した。

5 集運材の方法

(1) 木寄せ（集材）

木寄せは林内に伐倒され散在している間伐材を搬出路線の際まで引き寄せる作業で，他の搬出手段を用いた場合と変りはない。

手良試験地では間伐材を穂付の長材のまま傾斜を利用して人力によりレール際まで引下し，ここで採材仕様により造材した。

引下し距離はレールの位置より斜面上方50～60mの範囲であり，1人1回に3～4本の間伐木の末端を麻ロープで1束に括り，残存木の間を縫って引下しレール際で造材した。

出原試験地は地形が平坦であったため，伐倒現場で造材し，人力による担ぎ出し，農耕用ブルトラによるけん引土引き，耕耘機に改造装着されたウインチによる土引，人力2輪車積みなどを混用して木寄せした。木寄せの範囲はレールの両側約30m位で，これを超える場合にはレールの張り替えが得策であろう。

(2) 材の積み降し

材の積み降しはすべて人力で行なった。2～3mの材の積み込みは比較的容易であるが，大径の4m材はズリ棒を用いた。

荷降しは荷台に取り付けたサイドステッキを外し転り落した。

なお間伐材の搬出にあたっては、山土場のスペースを充分にとれない場合が多く、せまい土場での材種の仕分けは容易でない。モノレールは前進後退の操作が簡単であるため、積込み時に路線を前後に移動させ材種を仕分けて運材し、せまい山土場の有効利用を図った。

(3) 運材

自走式モノレールは走行運転のオペレーターを必要としないので、積込みや荷降しが終われば、積込みあるいは荷降しの担当者は前進後退ギヤのチェンジと走行クラッチを操作するだけで足りる。したがって走行中の事故の危険は無く、運材は必要最小限の人員配置に止めることができる。

6 工程調査

以上のような実験の内容について、所要人員や作業量などについて次のようなデーターを調査し、検討の資料とした。

(1) 所要人員

一日の労働時間を8時間とし、各作業に要した総延人数

(2) 作業工程

作業総量／所要人員

- ・ レールの敷設・撤去 路線延長／所要人員
- ・ 木寄せ 木寄せ材積／所要人員
- ・ 運材 搬出総材積／所要人員
- ・ 架線の架設・撤収 架線延長／所要人員

(3) 一回当りの搬出材積

搬出総材積／搬出総回数

(4) 一日当りの搬出回数

搬出総回数／搬出作業延日数

(5) 一日当りの搬出材積

搬出総材積／搬出作業延日数

II 実験の成果と考察

1 手良試験地

今回の手良試験地での実験は、本学手良沢山演習林8林班全域にわたる18~20年生のカラマツ人工林の一部で実施したもので、林道密度のひくい急傾斜地での間伐材の搬出手段の検討が主な課題である。

この林班には演習林の計画によると約1000mの作業車道の開設が予定されており、これが完成すると林道密度はほぼ50m/haに達するが、林内各地点から作業道際までの到達距離は、20°~35°の急斜地に沿って最大200~300mの範囲にまで及び、生産効率の悪い間伐材の搬出にあたっては、在来の集運材技術を適用してもなおいちじるしい制約が残されている。

このような林地にモノレールの特徴を活かして、試行的にその適用の可能性を検討してみた。実験の規模は小さく、総合的に“モノレールによる集運材体系”をとりまとめる段階には到っていないが、次のようないくつかの成果が得られ、今後これを拡大し実用化を図っていくための基礎資料として有効な手がかりとなった。

(1) 間伐の実績

手良での間伐実績は表-8に示すようにきわめて小規模なものであったが、モノレールによる運材能力のテスト材料として利用した。

表-8 手良試験地における間伐実績

面積	間伐率		間伐材積			材種別内訳			
	本数	材積	立木	素材	利用率	長級	径級	本数	材積
0.53 ^{ha}	31 [%]	20 [%]	11.5 ^{m³}	4.5 ^{m³} (532本)	40 [%]	m	cm	本	m ³
						2	3~13	381	2.25
						3	4~9	80	0.97
						4	5~9	71	1.28

カラマツ林での第1回目の間伐にあたっては、普通20~30m³/haの間伐材積が得られるので、レールの延長300~400m、集材距離をレール際から50~60mの範囲とすると間伐材はモノレール1路線当り50m³程度が期待される。次回はこの程度以上の規模の路線を設けて、カラマツ林における間伐の伐出収支を検討してみたい。

(2) 急斜地におけるモノレールの敷設

モノレールを使って、急傾斜の林内に散在する間伐材をできるだけ広い範囲から集材するためには、運材路線の勾配を緩くとり、レールの延長を延すことが有利である。また勾配が緩いと（アップ、ダウンはあってもよい）積載能も高められる。

急斜地にレールを敷設する方法には次の2つの方法が考えられる。

ひとつは、レールの接点毎に図-4に示すような足場工作を施す方法で、予備実験の段階で実行したが、集運材作業続行中の路線を人間が通路に併用する機会が多く、歩行上かえってこの足場が邪魔になって、これと平行した別な通路を設ける必要があった。

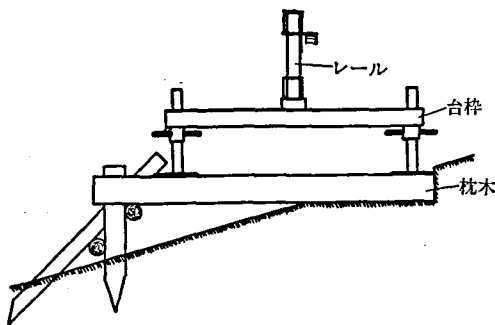


図4 足場工作の一例

もひとつの方法は、木馬道のようにあらかじめモノレールの運行予定線に台枠の巾よりやや広めの歩道を開設し、この上にレールを敷設して歩行用と兼用するもので、木馬道の廃道や既設の歩道などが利用できる場合はこれを活用することが望ましい。

今回は林内歩道の全くない林地であったので後者の方法を採用し、すべての林内作業に先立って歩道開設を行な

い、間伐や集運材作業などの通路として利用した。

歩道の開設はすべてわれわれの手で行なったが、巾60~70cm、延長170mの開設工程は4人区で済み、熟練者であれば1人1日60m程度の開設は可能であろう。

レールの敷設にあたっては、開設歩道のカーブや勾配がレールの組立てカーブや勾配と合致しない部分もあって、枕木や打杭によって簡単な路肩の補強作業を必要とした部分もあったが、台枠の大部分が歩道上にあるため、すべて足場工作による場合と比べて安定度が高く、敷設作業は容易であった。

この歩道開設には1m当り100円程度の経費を必要とするが、作業通路としての効用やレールの敷設・撤去工程の効率化が図られるため、開設費の一部はペイされるし、撤収後の林内管理用歩道としての活用や再度レール敷としての利用も考えられるので、モノレール体系による伐出を適用する場合には、一般経費を投入しても歩道開設を先行的に行なうことが望ましい。

なお基岩露出地などで歩道開設困難な箇所には、木馬道におけるような棧道工作を施す必要がある。

(3) レールの敷設・撤去

手良での実験は、モノレールを組入れた集運材作業に対する初めての体験で、その取扱いに習熟する過程であったが、レールの組立て解体にはほとんど特殊技能を必要としないので、われわれ3人の労力と技能でも延長166mのレールの敷設に5人区、撤去に2人区を費したに過ぎなかった。事業的規模での各作業工程の実績は、後述の出原試験地の成果にゆずるが、両試験地の実績から判断して、急斜地での利用においても、先行的に歩道が開設されていることを前提とすると、レールの敷設・撤去の工程は平坦地の場合とあまり大差はないと考えられた。

レールの敷設に際して最も肝要なことは、レールの垂直性が保たれこれがふらつかないように台枠の足場を固めることである。このモノレールは表一6から読みとれるように、木材運搬を対象とする場合には、けん引力やレールの荷重に対する耐応力にはかなりの余力があり、またレールはジョイント部分で台枠と継手金具で2重に固定されているため、レール全体が傾むかない限り転覆の危険はないし、騎乗式であるため脱線のおそれも全くない。再三の実験中、満載の列車が走行不能に陥り停止したケースを2・3体験したが、すべてレールの傾きによるもので、重心の高いモノレールの最も弱点とするところであるため、台枠の足場固めについては、レールの敷設時に特に留意したい。

(4) 台車の積載能力

運材工程の成果は出原試験地の項でとりまとめることとし、ここでは台車の積載能力についてふれておく。

小型モノレールの最大の弱点は、小径のモノレールに跨がって重量物を運搬する機構上、積荷の高さが高くなるにつれて重心が上り、走行が不安定になることを免れない。木材を運搬する場合、鉄材やコンクリート、石材などと比べて比重が小さいため、重量よりも積荷の高さに対する制約を強く受ける。特に手良試験地のように小径材が多い場合は、重量や材積の割合に容積が伸び大径材と比べて運搬効率はいちじるしく劣る。

本機種はレールが梯子型で、車両には上下2段のサイドローラーを備えて安定性を高めて

いるが、積荷を高くすると重心が上ると同時に左右の重量にアンバランスを生じやすく、積荷が一方に傾いて復元しないまま走行を続けると、レールやサイドローラーに過重な負荷がかかって、スムーズな運行が図られない場合があった。レールの固定が安定している場合には、出原試験地での測定資料に見られるように 1.3m^3 （重量 1t あまり）の積載実績も残しているが、間伐小径材の運搬では 1m^3 を超えると積荷が高くなり、運行に不安がつきまとうと同時に積み込み作業にもロスが生じやすい。

積み込み作業や運行の効率化を図るためには、積荷の高さをほぼ一定に保ち、小径材の場合 $0.6\sim 0.7\text{m}^3$ 、中径材以上で 0.8m^3 前後を積載量の標準としたい。

2 出原試験地

手良試験地での成果を基に、ここではモノレールを現実の間伐現場に持ち込み、モノレールによる集運材体系にとって最大の関心事であるレールの敷設・撤去工程や運材工程の分析を中心課題として、実用化への接近を試みた。

出原試験地は25～35年生のアカマツ林を対象とした中径木主体の間伐地で、1路線当りの出材量に相当量が期待され、またこの林分で実行された在来の小型集材機による集運材実績も得られたので、この資料との対比によって、モノレール体系による集運材工程を客観的に評価することができた。

実験は2回行なわれ、集運材の担当は1回目はわれわれ主導の態勢に架線集材にたずさわっていた森林組合伐出労務班4名が加わり、2回目は1回目の経験を生かして専ら同じ労務班4名に任せて、実績資料を得た。

(1) 間伐の実績

ここでの間伐は前述のように、林相のちがいによってほぼ2様の間伐指針によって行なわれ、1回目の集材範囲は主にアカマツ純林部を対象とし、(出原Ⅰと称する)、2回目はアカマツ・ヒノキの2段林部が対象となった(出原Ⅱと称する)。両者の間伐実績は表一9に示すとおりで、結果として出材量は出原Ⅰが 61.0m^3 、出原Ⅱが 34.4m^3 と純林部からの出材量が大きく上まわった。

表一9 出原試験地における間伐実績

面 積	間 伐 率		間 伐 材 積			材 種 別 内 訳		
	本数	材積	立木	素材	利用率	長級	径級	材積
1.57ha	51%	31%	137m^3	95.4m^3	70%	2m	6cm	37.6m^3
						3～4	8上	57.8

(2) レールの敷設・撤去工程

レールの敷設・撤去は両者ともほぼ先に述べた手順で行なわれた。実行の成果は表一10のとおりである。なおこの実験と前後して同じ機種を使って実施された、福岡県筑穂町森林組合ほか2件の実績も提示いただいたので、同表に併記した。

レールの総延長ならびに勾配は両者ともほぼ同じような値を示しているが、出原Ⅱは林地

表-10 レール敷設・撤去の工程

		出 原 I	出 原 II	筑 穂 町	山 国 町	直 川 村	
レールの延長 勾配	m	236	234	432	226	360	
	°	-4~9	0~13	5~25	5~29	0~25	
敷 設	所要人員	人	5.2	6.0	17.0	8.0	10.0
	作業工程	m/人	45.4	39.0	25.4	28.3	36.0
撤 去	所要人員	人	2.4	2.4	7.0	3.0	5.0
	作業工程	m/人	98.3	97.5	61.7	75.3	72.0

の傾斜がやや強く、レールの勾配も上まわった。

敷設の工程はわずかに出原Ⅱが劣るが、これは傾斜のちがいによるもので、台枠の足場工作およびレールのアンカー工作、曲りや勾配レールの挿入などの多用が原因している。筑穂町ほかの事例もレールの勾配が25°以上に及び、また路線延長が長いなどの理由で作業工程が低下したものと思われる。

敷設作業の人員配置は3人が適当で、レールの組立てが簡単であるため、これ以上の人数ではロスが目立つ。3人組で1日に100m前後の敷設が可能である。

レールの撤去工程はきわめて簡単で、やはり3人組が適当で1日で200~300m程度の工程が期待される。

なおレールの敷設・撤去作業における資材運搬はすべてモノレールの自走によるが、走行速度が50~60m/minと遅いため、筑穂町の例のように延長が長くなると、作業工程の低下はまぬがれない。

(3) 木寄せ工程

木寄せは集運材工程のうち集材を司る部分で、他の集運材手段を採用する場合にも付随する作業で、モノレールの場合も特に変わった点は認められず、全く横取りの機能を装備していない現状では、一般的な手段をいくつか組合せて実施した。

木寄せの工程は表-11に示すとおりで、筑穂町の事例なども含めて、木寄せ距離に見合っほぼ標準的な実績が得られたと思われる。表に示した木寄せ距離はレールの片側の値で、両サイドでは50~60mの範囲の間伐材が集材される。集材に際しては最寄り材種分けを大まかにしておくと、材種毎に集中運材し易く、土場での仕分けが効率的に行なわれる。

表-11 木寄せの工程

		出 原 I アカマツ	出 原 II アカマツ	筑 穂 町 ス ギ	山 国 町 ス ギ	直 川 村 ス ギ
搬出材積	m ³	61.0	34.3	160.0	142.0	76.0
木寄せ距離	m	30	20	30	60	30
所要人員	人	10	4	25	70	21
作業工程	m ³ /人	6.1	8.6	6.4	2.0	3.6

土場までの車両の往復時間はかなりあり、積込手に時間的余裕があるので、木寄せはレール際数mの範囲に止めておけばよく、過度に整序しておく必要はない。

(4) 運材工程

運材工程は表-12に示すとおりで、出原の場合は運材距離が同じであったこともあって、ほぼ同じ工程が得られた。筑穂町などの場合工程が劣るのは運材距離の長いことが最大の原因と考えられるが、人員配置にも多少のロスがあったのではなかろうか。

表-12 モノレールの運材工程

		出 原 I	出 原 II	筑 穂 町	山 国 町	直 川 村
最大運材距離	m	236	234	432	226	360
搬 出 材 積	m ³	61.0	34.3	160.0	142.0	76.0
所 要 人 員	人	12.4	7.1	57.0	48.0	23.1
作 業 工 程	m ³ /人	4.9	4.8	2.8	3.0	3.3

出原での標準的な運材作業の人員配置は、土場での荷降しと積み込みを兼ねて1人、積み込みと散材の木寄せや積み荷の準備を兼ねて2人の計3人をあてた。運材距離が短かくて土場作業が追われる場合には積み込み手が積荷に同行して手伝うことができるが運材距離が長い場合には互いに時間的余裕が生じやすくこれ以上人員を増すと労力にロスが生じやすい。

(5) 各作業工程における所要人員の総括

以上の各作業工程における所要人員を一括すると表-13のとおりで、モノレールによる集運材体系を採用する場合には次の諸点に留意していきたい。

表-13 モノレール集運材工程における所要人数の総括

		出 原 I	出 原 II	筑 穂 町	山 国 町	直 川 村
木 寄 せ	(所要人数)人	10.0	4.0	25.0	70.0	21.0
レールの敷設		5.2	6.0	17.0	8.0	10.0
運 材		12.4	7.1	57.0	48.0	23.1
レールの撤去		2.4	2.4	7.0	3.0	5.0
合 計	人	30.0	19.5	106.0	129.0	59.1
搬 出 材 積	m ³	61.0	34.3	160.0	142.0	76.0
総工程	1人当り	m ³ /人	2.0	1.8	1.5	1.1
	1m ³ 当り	人/m ³	0.49	0.57	0.66	0.91
				0.66	0.91	0.78

i) レールの敷設・撤去工程はレールの延長との相関が高いため同じ延長に対しては搬出材積が多いほど効率的である。

ii) レールの延長が長くなるに従って、敷設・撤去並びに運材工程は低下し、生産費に占める運材経費の比重を高めるため、ある程度の限界を設けて路線配置を考えるべきで

あろう。今回の実績から、延長400m前後を目安に検討してみる必要があるように思われた。

iii) 敷設・撤去並びに運材工程の適正な人員配置は3～4名が上限で、これ以上の増員は作業工程にロスが生じやすい。人員構成に余裕がある場合には、人員の多少に影響されない集材工程あるいはその前段階に行なわれる伐木・造材工程を併行させて人員配置の調整を図りたい。

iv) 作業手順は、仮設運搬手段としてのモノレール使用の回転率を高めるため、次のような作業仕組みが有効であろう。

敷設用の歩道を必要とする場合（主に急斜地）はこれを優先させ、伐木—造材—集材

表—14 1回当りの積載量

測定 番号	本数				積 載 材 積 m ³	備 考
	2 m材	3 m材	4 m材	計		
1	11	7	2	20	0.6665	
2	—	17	—	17	0.6399	
3	—	2	6	15	0.8868	
4	—	2	6	8	0.8620	
5	—	11	6	17	1.2966	
6	—	13	2	15	1.0384	
7	—	7	9	16	1.2204	
8	—	7	4	11	0.6457	
9	—	2	3	5	0.5632	
10	—	7	1	8	0.3976	
11	—	3	5	8	0.6216	
12	—	4	9	13	0.8240	
13	—	8	3	11	0.7221	
14	—	11	8	19	1.0563	
15	—	10	4	14	0.7737	
16	—	11	2	13	0.6944	
17	—	5	7	12	0.9535	
18	—	15	1	16	0.8245	
19	—	8	3	11	0.6059	
20	—	8	10	18	1.0884	
21	—	6	8	14	1.3179	
22	—	11	2	13	0.9698	
23	—	14	2	16	0.8137	
24	—	15	4	19	1.3188	
25	16 18	— —	— —	16 18	0.5804 0.3458	0.9262
26	3	55	17	75	5.4709	
計 平均	55	259	124	438	27.1988 0.8500	7 回 分 計32回分

(傾斜地などで穂付きのまま集材が可能な場合は造材に先行させる)ーレールの敷設ー運材(市場への輸送を併行させる)ーレールの撤去,の順とする。

(6) モノレールの運材能力

i) 1回当りの搬出量

2台連結の台車による一回当りの搬出量を出原Ⅰにおいて調査した結果は表-14のとおりである。

レールや台車,積荷の安定度などの調査も兼ねていたため,搬出量は $0.4\sim 1.3\text{m}^3$ と大きなバラツキがあり,平均値も 0.85m^3 とやや大きめの値が示された。しかし出原Ⅰにおける総搬出材積から割出した1回当りの平均搬出量は表-15に示すように 0.7m^3 で,この程度の搬出量が積み込み作業における労働量や積み込み時間に過重な負担がかからず,またレールの安定も図られ,運材作業全体の流れがスムーズに行なわれた。

表-15 モノレールの運材実績

		出 原 Ⅰ	出 原 Ⅱ	筑 穂 町	山 国 町	直 川 村
路 線 延 長	m	236	234	432	226	360
搬 出 材 積	m^3	61.0	34.3	160.0	142.0	76.0
運 材 延 日 数	日	4.0	2.4	12.0	12.0	7.0
総 搬 出 回 数	回	87	49	246	338	126
1回当り搬出量	m^3	0.70	0.70	0.65	0.42	0.61
1日当り搬出回数	回	22	21	20	28	18
1日当り搬出量	m^3	15.4	14.7	13.3	11.9	11.0

出原Ⅱでは前回の体験が生かされ,集運材作業に熟練した労務班によって積荷量にムラのない運材が行なわれ,1回当りの平均搬出量は出原Ⅰと同様 0.7m^3 の実績が得られた。

なお表-13に付した筑穂町の事例では 0.65m^3 ,手良試験地で 0.6m^3 などの実績から,搬出材の樹種や径級にもよるが,この機種種の1回当りの搬出量は $0.6\sim 0.8\text{m}^3$ 程度が適量と考えられた。

ii) 1日当りの搬出回数と搬出量

表-15に示すように,出原Ⅰ・Ⅱの平均1日当りの搬出回数および搬出量は,21~22回, 15m^3 前後で,積み込み・荷降しを含めて1往復当り15~20分を要した。筑穂町の事例では,運行距離が長い割合に1日の搬出回数は20回を示し,出原に劣らない成績が示されている。これは樹種がスギで積み降し時間の短縮が図られたのではないかと考えられる。

モノレールは運行速度が $50\sim 60\text{m}/\text{min}$ と低速であるため,距離の追加につれて往復時間も長びくが,レールの延長を $300\sim 400\text{m}$ に止めるならば,1日当り20往復前後で $14\sim 15\text{m}^3$ 程度の運材は可能であろう。

なお搬出材積が1日 15m^3 にも及ぶと,山土場がせまい場合には材の仕分けや極積みにいちじるしく支障をきたすため,運材の当日は市場への輸送用トラックを配して,土場作業の効率化を図りたい。出原では労務班4名の内3名が搬出作業に当り,他の1名は運材当日は専らトラック輸送に従事し,市場との間を数往復して出材の処理を行なった。

(7) 架線集材との対比

出原Ⅰのモノレールとほぼ平行して架設されていた森林組合労務班の小型集材機を用いた架線集材の実績は次のようであった。

集材機は自重250kg, 出力6.5～8 ps, 単胴エンドレスドラム付の小型機で, 延長200mのエンドレスタイラー方式の索張を採用, 主索12mm, 作業索およびテール線は6mmワイヤーを使用。

集材機の架設・撤収に関する工程および集運材に関する工程を表-16に示した。

表-16 架線集材による集運材の工程

	所要人数	作業工程	備 考
架 設	6.0 人	33.3 m/人	架線の延長 200m
撤 収	2.0 人	100.0 m/人	搬出材積 77.8m ³
			木寄せ距離 30m
木寄せ	8.0 人	9.7 m ³ /人	1人当り工程 2.4m ³ /人
運 材	16.9 人	4.6 m ³ /人	1m ³ 当り工程 0.42人/m ³
計	32.9 人		

これらの値をモノレールの実績と対比すると, 両者の各作業工程や搬出能力にはほとんど差は認められず, 集運材手段としては甲乙つけ難い成果が得られた。

しかしモノレールと対比させて架線集材の利点・欠点を挙げると,

利点

- ① 路線延長に対する単位

当りの施設費が安価である。

- ② 搬出能力に比べて施設全体が軽量小型で取扱いやすい。
 ③ 架線下の横取りがある程度可能で, その分だけ木寄せ工程が軽減される。
 ④ 積込みの労働がはぶける。

欠点

- ① 架設・撤収や集運材に特殊技術を必要とする(集材架線技士免許が必要)。
 ② 集材機のオペレーター1名を含めて最低3名以上の人員配置を必要とする。
 ③ 全装置が完成しないと集運材ができない。
 ④ 曲線集材に対する適応性がない。
 ⑤ 架線下の伐開をさけられない。
 ⑥ 遠隔操作であるため, 材の積み降しに細心の注意を必要とし, これを怠ると危険が伴なう。

などで, 空中架設であるための硬直性が目立ち, 地上敷設で柔軟性に富むモノレールとの性格の差が対象的であった。

(8) モノレール体系による間伐事業収支の試算

出原試験地における総ての間伐事業収支については, 森林組合において取まとめられているが, この中からモノレールによる集運材工程の部分だけを抽出することは不可能であるため, 出原Ⅰの各種作業工程の実績ならびに森林組合の各種計算の基礎資料に基づいて, モノレール1路線当りの間伐事業収支を試算してみた。

出原Ⅰを試算の対象としたので, 事業規模はレールの延長236m, 搬出材積61m³であり, 伐出の労賃は実勢に基づいてすべて日当8,000円とした。なお林況は前述のとおりアカマツ25～35年生林分で対象面積は約1.5haである。

試算の結果は表-17のとおりである。

表-17 モノレール体系による間伐事業収支の試算

収 支 項 目				算 出 の 基 礎			1 m ³ 当単価	備 考
				日 当	所要人数	出 石		
支 出	直 接 費	人 件 費	伐木造材	8,000	20.5	61.0	2,689	メーカーの資料による 森組の資料参照
			木 寄 せ		10.0		1,311	
			レール敷設		5.2		682	
			運 材		12.4		1,626	
			レール撤収		2.4		315	
		小 計		30.0	6,623			
	費	機 械 償 却 費		機械1式価格 460万円 搬出期待材積 4,200m ³			1,095	
		雑 費		労災保険, 燃料, 消却資材ほか			1,108	
		計					8,826	
	間 接 費	運 輸 費		森林組合の実績による			2,160	
		販 売 費		"			1,370	
合 計							12,356	
販 売 収 入				"			15,389	
差 引 (立木代)							3,033	

この試算による事業収支は、間伐材が15,000円/m³程度で処分されれば12,000円/m³あまりの生産経費を支払っても約3,000円の立木代が得られて、黒字経営が可能である。

最近の間伐事業においては、12,000円/m³程度の生産経費は最低保証していかなければならないすう勢にあるが、モノレールによる集運材体系を採用しても、事業実行が可能である見通しが得られた。

生産経費全体のうちモノレールに関わる経費は、レールの敷設・撤去および運材に必要な直接経費が2,623円/m³、間接的な機械償却費が1,095円/m³と試算され、この両方で総経費の30%を占めるが、他の運材手段と対比してもこの程度の経費支出は容認されるものと思われる。

なおレール敷設用の歩道開設費をこの事例にあてはめて試算してみると、開設延長240m、開設工程60m/人として4人区が必要であり、日当8,000円とすると32,000円の経費が必要で、すべて間伐事業費負担としても1m³当り525円となり、支弁不可能な額ではない。

おわりに

林業には各種各様の作業があり、それらが入り混じって山の仕事が行なわれている。その

ための用具や機械類も種々考案されてきた。しかしそれらを使って森林内で実際に作業をしてみると、現場は様々な変容を呈しており、単なる技術や技能の不足という事で片付けられない問題があり、林業のむづかしさをしみじみと感ずる。

さしせまってわれわれが悩んでいる問題は、間伐に際して林内に散在する多数の小径材を効率よく搬出することである。

山の地形は複雑で傾斜も強く、林道からの距離は遠いし、人間がそこへ行くのさえ至難な場所や面積がどれ程多いことか、そこで間伐を行ない間伐木を搬出しようというのであるから根本的に無理なのか、否われわれはそこに地ごしらえをし、植林し、下刈りし、現在まで育ててきたのである。今ここでこれを放置することはどうしても納得がいかない。

あれこれ思案した末モノレールによる集運材は、こうした状況の中からとりかかったものである。かつての木馬は道なき林地から数 100m はおろかもっと遠い距離に挑戦し、苛酷な労働に耐えて永くわが国の林業生産を支えてきた。先人の工夫をふまえ、近代化が積み残した空間に、新たな武器をもって迫ってみた。

手頃な機種を選び実行してみた結果は以上のとおりで、他の手段に互して林業用機械として充分使用に耐えるものと判断された。取り付けやすく、仕事もするし、機構や作業仕組の工夫改良によって更に活用分野の拡大を図っていきたい。

おわりに、この実験に際し下伊那郡飯伊森林組合の多くの方々をはじめ、松川支所ならびに労務班の皆様から並々ならぬ協力・助言を賜り、初期の目的を果たすことができました。ここに心から感謝の意を表します。

An Effective method for timber transportation of thinned wood by means of monorail

by

Yōji SHIMAZAKI, Yūkichi TAKAHASHI, Ichirō CHIBA

Seminary of forest Management, Fac Agric, Shinshu Univ.

Summary

The authors attempted to examine the method for timber transportation of thinned wood by monorail (we called this "monorail method").

The results obtained were summarized as follows.

(1) The monorail method seems to be more easy to use as a forest machinery, so that, it will be expected high effective as one of the best method of timber transportation.

(2) Further, a merit for this method is that assembling and dissecting of the rail seems to be more easy. So, it may be suitable for general run of people. Maximum amount of work in a group of three people within a day for laying down or removing off the rail should be about 40m or about 100m, respectively.

(3) Moreover, maximum amount of work in a group of three people within a day for logging should be about 14~15m³.

(4) Rate of cost by the "monorail method" against the total logging cost is about 30%.

(5) It may be more effective for logging on the steep mountainous slope that the skid way was set up on the slope in advance.