

長伐期林業の間伐作業シミュレーション

京都大学 新永君の美甘事例研究データにより、スギ・ヒノキ人工林の間伐作業シミュレーションを以下のように構成する。

つまり、急傾斜地であることを前提として、道幅 2.5m 程度の高密度路網を開設し、0.25m³ 級の作業車（グラップル、プロセッサ、クローラダンプ、ボックホー）を利用して、間伐を行うことを条件とする。

間伐作業工程を次の 3 工程にわけ、これらに影響を及ぼす要因を、木の大きさ、搬出路までの距離、貯木場までの搬出距離、トラック運搬距離とする。

1) 伐倒（木寄せ）造材工程、

立木を伐倒し、必要ならば、木寄せを行い、造材する作業工程

説明変数を 立木の胸高直径 と 搬出路までの集材距離 の 2 要因とする

2) 丸太搬出工程、

造材された丸太を運搬車に積み、林道端の貯木場まで搬送し、極積みする作業工程

説明変数を積み込み位置から貯木場までの 搬出距離 とする。

3) トラック運材工程

1. 時間費用

各工程で利用される機械類それぞれの時間費用は、表-1 のようになる。これはサムセットの簡易式を用いて計算したものである。

サムセット簡易計算式は、 $y = 0.3375 \times \text{調達費(千円)} + 123$ である。

作業者の平均賃金を実績から 15000 円/日とする。社会保険等を加算して日割りにすると、17772 円/日になる。

機械・施設等保険料は 646,576 円である。

年度	導入した重機	価格	時間費用	人件費	計
平成 5 年度	バックホー＋グラップルヘッド	4,000,000	1,473	2,962	4,435
平成 6 年度	クローラキャリア	3,800,000	1,406	2,962	4,367
平成 7 年度	グラップル(間伐現場用)	6,600,000	2,351	2,962	5,312
	大型トラック	7,300,000	2,587	2,962	5,549
平成 8 年度	グラップル(次年度にはプロセッサ専用となる)	8,400,000	2,958	2,962	5,920
平成 9 年度	プロセッサヘッド	7,300,000	2,587	2,962	5,549
	クローラキャリア	3,200,000	1,203	2,962	4,165
	グラップル(土場作業用)	7,000,000	2,486	2,962	5,447
平成 10 年度	グラップル(間伐現場用)	9,700,000	3,397	2,962	6,359

平成 11 年度	なし		123	2,962	3,085
平成 12 年度	グラップル+ブレーカー	5,500,000	1,979	2,962	4,941
平成 13 年度	ハーベスタ	11,000,000	3,836	2,962	6,797
	チェーンソー	110,000	160	2,962	3,122
		機械合計	26,261		
		使用機械合計	16,150		

表-1 所有機械の時間費用

2. 伐倒・造材工程

立木位置から路網までの最短距離を集材距離とする。この集材距離を 1) 16m以下、2) 16mから 19mまで、3) 19m以上 の3つの場合に分け、それぞれ次の作業方法が採用されるものと仮定する。

この間、造材歩留りについては以下のような仮定をおく。

- 胸高直径 15 cm以下の間伐木は切り捨てとする。伐倒のみ行う。
- 15 cmから 27 cmまでの造材歩留りを $0.05 \times (\text{胸高直径} - 15)$ とする。
- 胸高直径 27 cm以上の造材歩留りを 0.6 とする。

1) 集材距離が 16m以下の場合、

チェーンソー伐倒後、直接プロセッサ造材する。

2) 集材距離が 16mから 19mの範囲

チェーンソー伐倒後、グラップルによる木寄せ後、プロセッサ造材を行う。

3) 集材距離が 19m以上の場合

チェーンソー伐倒後、ワイヤロープを架け、ウインチで木寄せ後、プロセッサ造材を行う。

なお、ここでは、ハーベスタ伐倒・造材をシミュレーションに加えない。全て、チェーンソー伐倒とする。

プロセッサは胸高直径 40 cmのものまで、処理可能とする。

4) 胸高直径 40 cm以上の立木については、

チェーンソー伐倒後、直ちに、チェーンソー造材を行い、短材にしたものをワイヤロープを架けてウインチ木寄せする。

(1) 切捨ての能率と費用

胸高直径 15 cm以下の間伐木は切捨てにする。表-2 にシミュレーション用の数値を記載する。

切捨て作業		
径級	日処理本数	費用/本
11	206	¥89
13	202	¥90
15	199	¥92

表－2 間伐木切捨て費用など

(2) 伐倒・木寄せ・造材工程の能率と費用

胸高直径 16 cm以上 40 cmまでの間伐木はチェーンソー伐倒、プロセッサ造材がなされる。木寄せ作業は、集材距離 16m以下では行われず、直接、プロセッサで掴み上げて造材される。この功程を表－3 に示す。

木寄せなし 集材距離 16m以下の場合				
径級	日処理本数	日造材量 m3	費用/本	費用/造材量
17	87	1.7	¥288	¥15,011
19	82	4.0	¥313	¥6,402
21	78	7.1	¥338	¥3,706
23	74	11.0	¥363	¥2,449
25	71	15.7	¥388	¥1,746
27	67	21.3	¥413	¥1,310
29	65	23.8	¥439	¥1,189
31	62	26.4	¥464	¥1,087
33	59	29.1	¥489	¥1,000
35	57	31.8	¥514	¥925
37	55	34.6	¥539	¥859
39	53	37.4	¥564	¥802

表－3 集材距離 16m以下の伐倒・造材功程

集材距離が 16m以上、19m以下の場合には、チェーンソー伐倒後、グラップルで木寄せをしておき、プロセッサ造材をする。その場合の功程を表－4 に示す。

純木寄せ 集材距離 16mから 19mの場合				
径級	日処理本数	日造材量 m3	費用/本	費用/造材量
17	59	1.1	¥430	¥22,417
19	56	2.8	¥455	¥9,308
21	54	5.0	¥480	¥5,264
23	52	7.8	¥505	¥3,407

25	51	11.3	¥531	¥2,386
27	49	15.5	¥556	¥1,760
29	47	17.5	¥581	¥1,575
31	46	19.6	¥606	¥1,420
33	45	21.8	¥631	¥1,291
35	43	24.1	¥656	¥1,181
37	42	26.5	¥681	¥1,086
39	41	28.9	¥706	¥1,004

表－4 集材距離 16m以上、19m以下の伐倒・木寄せ・造材工期

集材距離が 19m以上の場合、チェーンソー伐倒後、ワイヤロープを架けウインチ木寄せを行い、プロセッサ造材をする。表－5 にその工期を記載する。

ウインチ木寄せ 集材距離 19m以上の場合				
径級	日処理本数	日造材量 m3	費用/本	費用/造材量
17	23	0.4	¥1,019	¥53,063
19	22	1.1	¥1,044	¥21,333
21	22	2.0	¥1,069	¥11,710
23	22	3.2	¥1,094	¥7,372
25	21	4.7	¥1,119	¥5,031
27	21	6.6	¥1,144	¥3,624
29	21	7.7	¥1,169	¥3,170
31	20	8.7	¥1,194	¥2,800
33	20	9.9	¥1,219	¥2,494
35	20	11.1	¥1,244	¥2,239
37	20	12.3	¥1,269	¥2,024
39	19	13.7	¥1,294	¥1,840

表－5 集材距離 19m以上の伐倒・ウインチ木寄せ・造材工期

(3) 大径間伐木の伐倒・造材・木寄せ

胸高直径 40 cm以上の間伐木はプロセッサ造材を行わず、チェーンソー造材の後に、ワイヤロープを架け、ウインチ木寄せを行う。その場合の工期を表－6 に示す。

径級 40 cm以上				
径級	日処理本数	日造材量 m3	費用/本	費用/造材量
41	21	16.6	¥1,003	¥1,279
45	21	20.3	¥1,007	¥1,048
51	21	26.5	¥1,011	¥802

55	21	31.1	¥1,015	¥682
61	21	38.8	¥1,020	¥547
65	21	44.4	¥1,023	¥478
71	21	53.5	¥1,028	¥396
75	21	60.1	¥1,031	¥353
81	20	70.7	¥1,036	¥300
85	20	78.2	¥1,039	¥271
91	20	90.3	¥1,044	¥234
95	20	98.8	¥1,047	¥214
101	20	112.3	¥1,052	¥188

表－6 胸高直径 40 cm以上の間伐木伐倒・造材・木寄せ工程

3. 搬出工程

路網で造材された短材は、クローラダンプに積み込み、貯木場まで搬出され、極積みされる。

出材量 m³あたりの所要時間（秒）と費用（円）は、それぞれ搬出距離に比例して、

$970.0 + 1.358 \times \text{搬出距離 m}$ および $1195.3 + 1.293 \times \text{搬出距離 m}$

で求められる。

間伐材搬出工程			
搬出距離	秒／m ³	費用／m ³	日搬出量m ³
100	1106.5	¥1,325	19.521
300	1378.1	¥1,583	15.674
500	1649.7	¥1,842	13.093
700	1921.3	¥2,100	11.242
1000	2328.7	¥2,488	9.276
1500	3007.7	¥3,135	7.182
2000	3686.7	¥3,781	5.859

表－7 クローラダンプ（4トン積み）による搬出工程

4. トラック運材

トラック運材については、美甘事例では、表－8 のようにになっている。

トラック運賃/m³(7m³積みとする)

を加えた総費用

往復時間	費用	費用/m ³
1	¥5,549	¥793

2	¥11,097	¥1,585
3	¥16,646	¥2,378
4	¥22,195	¥3,171
5	¥27,744	¥3,963

表－8 トラック運賃

以上のデータを組をわせれば、美甘事例方式の間伐システムの費用を概略計算できる。
以下、この方法を用いて作業能率と費用の予測を行う。

5. 美甘事例の長伐期収支予測

美甘事例の35年生スギ・ヒノキ人工林について、間伐木選木および生育過程については、吉野正木モデルを用い、その間の間伐費用については上述の予測方法を用いて計算する。
以下、全て ha あたりの数値である。

(1) 35年生間伐を事実どおりとし、以後、10年間隔で材積20%間伐を繰り返す場合

林齢	35	45	55	65	75
期首蓄積	455.7	405.7	425.9	426.8	417.2
平均 DBH	20.6	26.2	28.8	32.5	36.6
平均最短集材距離	11.7	13.7	11.3	12.9	13.3
平均搬出距離	456.2	448.3	453.6	454.6	455.0
立木伐採量	180.7	81.4	85.4	86.7	84.8
出材量	68.8	43.0	48.1	51.8	50.7
費用	¥523,156	¥225,799	¥208,382	¥204,509	¥179,288
収入	¥687,565	¥429,721	¥481,157	¥517,507	¥507,257
差額	¥164,409	¥203,922	¥272,774	¥312,998	¥327,968
費用/m3	¥7,609	¥5,255	¥4,331	¥3,952	¥3,534

林齢	85	95	105	115	125
期首蓄積	402.5	384.3	364.2	331.7	307.0
平均 DBH	41.2	43.0	48.5	58.8	67.0
平均最短集材距離	12.4	12.8	14.2	23.6	14.7
平均搬出距離	458.1	459.8	455.5	459.7	445.4
立木伐採量	81.9	77.6	82.2	68.0	307.0
出材量	49.1	46.5	49.3	40.8	184.2

費用	¥153,043	¥141,537	¥132,977	¥97,935	¥414,199
収入	¥491,410	¥465,181	¥493,185	¥408,276	¥1,842,231
差額	¥338,366	¥323,644	¥360,208	¥310,341	¥1,428,032
費用/m3	¥3,114	¥3,043	¥2,696	¥2,399	¥2,248

表－9 35年生 45%間伐後、10年ごとに20%間伐

(2) 35年生間伐を30%とし、以後10年毎に材積20%の間伐を繰り返す場合

林齢	35	45	55	65	75
期首蓄積	455.7	470.1	492.0	492.5	481.3
平均 DBH	20.4	25.0	28.9	33.6	35.0
平均最短集材距離	12.8	10.8	12.9	10.8	12.4
平均搬出距離	454.1	454.7	454.4	453.7	460.0
立木伐採量	137.3	95.0	98.5	99.6	97.5
出材量	48.3	47.0	55.5	58.7	57.5
費用	¥424,002	¥260,105	¥246,781	¥214,870	¥207,465
収入	¥482,810	¥469,780	¥555,245	¥587,034	¥575,415
差額	¥58,807	¥209,675	¥308,465	¥372,164	¥367,950
費用/m3	¥8,782	¥5,537	¥4,445	¥3,660	¥3,605

林齢	85	95	105	115	125
期首蓄積	464.7	444.8	419.9	388.8	361.2
平均 DBH	37.7	44.5	49.0	60.3	76.2
平均最短集材距離	13.5	11.5	16.0	22.5	14.0
平均搬出距離	454.9	457.3	452.2	463.2	456.7
立木伐採量	93.6	91.1	89.2	78.5	361.2
出材量	55.8	54.6	53.4	47.1	216.7
費用	¥187,655	¥155,720	¥142,897	¥112,104	¥473,338
収入	¥558,307	¥546,417	¥534,352	¥471,159	¥2,167,400
差額	¥370,652	¥390,698	¥391,455	¥359,055	¥1,694,062
費用/m3	¥3,361	¥2,850	¥2,674	¥2,379	¥2,184

表－10 35年生 30%間伐後、10年ごとに20%間伐

(3) 35年生間伐を事実どおりとし、以後、10、10、20、20、30、・・・のように間伐間

隔を伸ばしていく場合

林齢	35	45	55	75	95
期首蓄積	455.7	405.7	425.9	516.0	584.6
平均 DBH	20.6	26.2	28.8	35.2	42.5
平均最短集材距離	11.7	13.7	11.3	12.9	13.3
平均搬出距離	456.2	448.3	453.6	454.6	455.0
立木伐採量	180.7	81.4	85.4	103.7	117.0
出材量	68.8	43.0	48.1	62.1	70.2
費用	¥523,156	¥225,799	¥208,382	¥224,280	¥210,043
収入	¥687,565	¥429,721	¥481,157	¥621,119	¥702,214
差額	¥164,409	¥203,922	¥272,774	¥396,839	¥492,171
費用/m3	¥7,609	¥5,255	¥4,331	¥3,611	¥2,991

林齢	125	155	185	215	245
期首蓄積	741.4	883.3	989.9	1050.2	1066.3
平均 DBH	54.1	61.8	76.4	104.1	114.5
平均最短集材距離	12.4	13.1	13.1	25.3	15.5
平均搬出距離	458.1	459.9	457.1	453.0	450.7
立木伐採量	148.3	179.4	203.6	215.3	1066.3
出材量	89.0	107.6	122.2	129.2	639.8
費用	¥225,475	¥251,307	¥261,332	¥252,901	¥1,233,647
収入	¥889,839	¥1,076,357	¥1,221,781	¥1,291,909	¥6,398,001
差額	¥664,365	¥825,051	¥960,449	¥1,039,008	¥5,164,355
費用/m3	¥2,534	¥2,335	¥2,139	¥1,958	¥1,928

表一11 35年生 45%間伐後、10,10,20,20,30・・・年間隔で20%間伐

(4) 35年生間伐を30%とし、以後、10、10、20、20、30、・・・のように間伐間隔を伸ばしていく場合

林齢	35	45	55	75	95
期首蓄積	455.7	470.1	492.0	594.8	672.6
平均 DBH	20.4	25.0	28.9	36.3	40.8
平均最短集材距離	12.8	10.8	12.9	11.3	11.7

平均搬出距離	454.1	454.7	454.4	452.2	461.1
立木伐採量	137.3	95.0	98.5	119.9	134.8
出材量	48.3	47.0	55.5	71.6	80.5
費用	¥424,002	¥261,217	¥246,781	¥247,411	¥245,315
収入	¥482,810	¥469,780	¥555,245	¥716,031	¥804,907
差額	¥58,807	¥208,563	¥308,465	¥468,620	¥559,591
費用/m3	¥8,782	¥5,560	¥4,445	¥3,455	¥3,048

林齢	125	155	185	215	245
期首蓄積	853.3	1010.9	1134.4	1204.0	1171.9
平均 DBH	49.4	64.4	76.2	108.8	129.6
平均最短集材距離	13.6	11.8	16.1	22.7	11.1
平均搬出距離	456.7	455.3	454.6	460.3	456.6
立木伐採量	174.9	204.2	232.9	286.4	1171.9
出材量	105.0	122.5	139.8	171.9	703.2
費用	¥280,795	¥278,003	¥297,042	¥336,674	¥1,343,005
収入	¥1,049,664	¥1,225,344	¥1,397,607	¥1,718,639	¥7,031,527
差額	¥768,869	¥947,341	¥1,100,564	¥1,381,965	¥5,688,523
費用/m3	¥2,675	¥2,269	¥2,125	¥1,959	¥1,910

表－12 35年生30%間伐後、10,10,20,20,30・・・の間隔で20%間伐

(5) 35年生間伐を45%とし、以後5年ごとに10%間伐を繰り返す場合

林齢	35	40	45	50	55
期首蓄積	455.7	342.8	366.5	381.7	390.6
平均 DBH	20.6	23.9	27.7	27.2	28.4
平均最短集材距離	11.7	15.7	10.0	13.2	10.9
平均搬出距離	456.2	443.7	453.0	454.8	452.7
立木伐採量	180.7	35.3	37.1	38.5	42.0
出材量	68.8	16.5	20.1	21.0	23.4
費用	¥523,156	¥111,336	¥89,904	¥105,326	¥101,506
収入	¥687,565	¥164,865	¥201,328	¥210,349	¥233,800
差額	¥164,409	¥53,529	¥111,424	¥105,023	¥132,294
費用/m3	¥7,609	¥6,753	¥4,466	¥5,007	¥4,342

林齢	60	65	70	75	80
期首蓄積	392.4	393.7	393.1	390.2	383.6
平均 DBH	30.8	33.1	34.6	39.8	38.0
平均最短集材距離	11.5	13.4	11.9	14.3	11.5
平均搬出距離	459.0	451.9	451.5	455.5	456.2
立木伐採量	39.8	39.7	40.2	42.1	383.6
出材量	23.4	23.8	23.9	25.3	229.8
費用	¥94,933	¥94,940	¥83,407	¥84,436	¥707,194
収入	¥233,629	¥237,859	¥238,749	¥252,553	¥2,298,277
差額	¥138,696	¥142,919	¥155,342	¥168,117	¥1,591,083
費用/m3	¥4,063	¥3,991	¥3,493	¥3,343	¥3,077

表一13 35年生45%間伐後、5年ごとに10%間伐

(6) 35年生間伐を30%とし、以後5年ごとに10%間伐を繰り返す場合

林齢	35	40	45	50	55
期首蓄積	455.7	396.8	425.2	442.9	452.7
平均 DBH	20.4	23.3	25.5	26.6	29.7
平均最短集材距離	12.8	10.0	11.0	12.2	14.9
平均搬出距離	454.1	454.2	453.9	453.6	457.7
立木伐採量	137.3	39.8	42.5	44.7	45.6
出材量	48.3	18.0	21.4	23.9	26.0
費用	¥424,002	¥111,011	¥113,708	¥121,254	¥116,365
収入	¥482,810	¥180,023	¥214,164	¥239,241	¥259,578
差額	¥58,807	¥69,012	¥100,456	¥117,987	¥143,213
費用/m3	¥8,782	¥6,166	¥5,309	¥5,068	¥4,483

林齢	60	65	70	75	80
期首蓄積	457.5	458.3	456.6	451.9	445.6
平均 DBH	31.0	33.5	34.6	37.3	33.9
平均最短集材距離	9.7	11.3	13.2	10.6	12.1
平均搬出距離	451.2	457.0	462.7	453.6	460.0
立木伐採量	46.6	46.8	47.6	47.4	445.6

出材量	27.3	27.8	27.3	28.4	266.6
費用	¥105,665	¥107,896	¥96,521	¥92,983	¥810,859
収入	¥273,220	¥277,988	¥273,423	¥284,458	¥2,666,328
差額	¥167,555	¥170,092	¥176,903	¥191,474	¥1,855,469
費用/m3	¥3,867	¥3,881	¥3,530	¥3,269	¥3,041

表－14 35年生 30%間伐後、5年ごとに10%間伐

6. 美甘事例長伐期施業の平面図

前項の（1）――（6）について、pdf にバインドする。