

論文

立地条件に基づいた伐出作業システムの類型化と伐出経費の推計モデル^{*1}

— GIS を用いた地域森林資源管理での活用を想定して —

野田 巖^{*2} ・ 姫野光雄^{*3} ・ 齋藤英樹^{*2} ・ 鹿又秀聡^{*2}

野田 巖・姫野光雄・齋藤英樹・鹿又秀聡：立地条件に基づいた伐出作業システムの類型化と伐出経費の推計モデル 九州森林研究 59：36-41, 2006 伐出作業は地形傾斜，集材距離などの立地条件でその仕組みは異なり，それに依りて経費単価も異なるといわれる。立地条件からみた伐出経費を見積もることができれば，現有の森林を素材生産する際の採算性評価だけでなく，いわゆる「資源の循環利用林」として林地の潜在的な適用性評価にも活用されることが想定できる。本報告では大分県下での伐出実績の調査をもとに主伐に関して，立地条件と伐出作業システム類型の関係を分析して地形傾斜と集材距離，販売材積から作業システムを類型化し伐出経費の推計式を多変量解析により作成した。その再現誤差率は平均23.9%（標準誤差5.9%）で，精度改善という課題は残るもののGISを用いた地域森林資源管理に適用可能であると考えられた。

キーワード：森林計画，素材生産，予測モデル，ゾーニング，GIS

I. はじめに

森林の炭素吸収源としての期待が高まり持続的な森林経営の推進が重要とされる一方で，林業を取り巻く経済的条件が厳しく再造林放棄にいたる林地も増えつつある（野田，2004など）。林業経営の経済的採算性に着目し，立地条件に由来する潜在的な経済性で林地をゾーニングすることも重要になってくると考えられる。ところで，森林を機能面で3つにゾーニングし効果的に森林管理を進める方式が導入され，田中（2002），呉ほか（2004）などいくつかのゾーニング方法が提案されている。しかし，それらで示される木材生産のためのゾーニング基準には林地の生産力やアクセス容易性が考慮されている程度で，林地の地理的，地形的特徴など立地条件に由来する潜在的な木材生産の経済性にまでは着目されていない。そのため，われわれは林地を木材生産の経済性でゾーニングする評価基準のひとつとして，林地単位に伐出経費を見積もる方法に着目した。しかも森林GISに組み込んで地域森林資源管理に適用できることを前提に，容易に入手可能なデータで実行できることを条件にした。

従来，伐出経費の予測システムに関する研究には田中ほか（1992a；1992b；1993），全国林業改良普及協会（2001）などがある。しかしいずれも，個別の作業現場について詳細に評価することを目的としていて，そのため立地条件の他に木寄せ距離，セット人員といった集材条件など詳細なデータを入力するものである。そこで，本稿では施業単位の小班ごとに林地の立地条件をもとに，適用されることが見込まれる伐出作業システムを特定し伐出経費を予測する手法について検討した。本研究の一部は，森林総合研

究所運営費交付金プロジェクト（課題番号：200304）の一環によるものである。

II. 材料と方法

大分県内の森林組合が実施した平成10～13年度の伐出作業現場について，主間伐別に次の項目を調査した；①林分条件（面積，地形傾斜，樹種，林齢），②伐出に使用した機械，③伐出経費（直接費），④集材距離，⑤販売材積など。今回は搬出材積に相当するものとして実際の販売材積を調査した。使用機械（従来型／高性能型），集材方式（車両系／架線系），面積（0.5ha未満／以上）で区分してなるべく偏らないように調査箇所を収集した。主伐98箇所，間伐112箇所について得られたうち，今回の解析は主伐についての有効回答74箇所を使用した。

調査項目の設定に際しては，伐出作業が地形・地理・林分条件や機械の種類・組合せ，集材関連条件に影響を受け作業システムで生産性が異なること（全国林業改良普及協会，2001），伐出事業費の中で立地条件により大きく変化する経費は運材費のほかは集材距離と集材数量が大きく作用する集材費とされる（井上・梅田，1988）ことなど，をもとに設定した。

解析処理も含めた処理の流れを図-1に示す。解析はまず，①使用される伐出作業機械の種類を吟味し伐出作業システムを分類し，②得られたデータについて立地条件を示す要因を絞り込んだのち，伐出作業システム類型との関連をANOVAで分析し立地要因の特徴を定量的に解析して立地条件に基づいた類型化モデルを作成した。次いで③伐出作業システム類型ごとに，伐出経費を

^{*1} Noda, I., Himeno, M., Saito, H., and Kanomata H.: Estimation models of logging operation system and the logging cost with site features -Assuming the applications to regional forest resources management with geographic information systems

^{*2} 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. Center, For. & Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860-0862

^{*3} 大分県森林整備センター研修部 Training Dep., Oita Pref. Forest Improvement & Restoration Center, Yufuin, Oita 879-5114

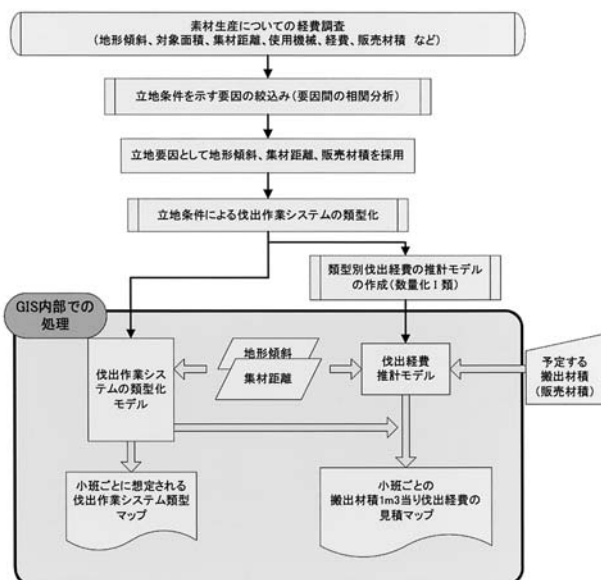


図-1. 処理の流れ

Ⅲ. 結果と考察

1. 伐出作業機械の類型

得られたデータについて伐木、造材、集材の行程で使用された機種を集計したところ伐木はすべてがチェーンソーを使用していた。造材・集材については大きく8区分に分類された(表-1)。その際、ラジキャリーは集材機に、ハーベスタとグラブソーはプロセッサに、スイングヤードはタワーヤードに、スキッターはフォワーダに含めた。さらに、データに偏りがあるため表-1のように作業仕組みをまとめて6区分に分類した。

2. 立地条件に基づく伐出作業システムの類型化

類型化に先立って要因の絞り込みを検討した。具体的には、今回得た立地条件に関する要因である主伐面積、地形傾斜、集材距離、販売材積の相関分析を行った(表-2)。その結果、主伐面積と販売材積には高い相関($r=0.864$, $p<0.01$)があることから以後の分析で使用する立地要因を地形傾斜、集材距離、販売材積に絞り込んだ。図-2に6タイプの各要因の平均値と95%信頼区間を示す。

表-1. 集材造材方法による伐出作業システムの分類

タイプ	8区分と6区分の関係	6区分パターン	8区分パターン	(件) 件数
従来型	1	林内作業車	林内作業車	20
	2	トラクタ	トラクタ	6
	3	集材機	集材機	20
高性能型	4	フォワーダ	クレーン、グラブローダ	8
	4	フォワーダ	フォワーダ	3
	5	トラクタ+プロセッサ	トラクタ+プロセッサ	6
	5	トラクタ+プロセッサ	タワーヤード+プロセッサ	1
	6	集材機+プロセッサ	集材機+プロセッサ	10
合計				74

表-2. 要因間の相関係数

要因	主伐面積	販売材積	地形傾斜	集材距離
主伐面積 (ha)	1			
販売材積 (m ³)	0.864**	1		
地形傾斜 (度)	0.156	0.239*	1	
集材距離 (m)	0.159	0.107	0.244*	1

*, **はそれぞれ5%, 1%水準で有意なことを示す。

立地要因で推計するモデルを多変量解析によって作成した。推計モデルの評価は再現誤差率によって行った。

こうして得られたモデル等の適用事例を図示するため実際に森林GISに組み込んで、大分県旧上津江村についてそれぞれの主題図を作成した。その際、大分県が作成した森林GISのデータ(地番界^(註1)、林道網)のほか、地形傾斜算出のために国土地理院の数値地図50mメッシュ(標高)を、集材距離算出のために県の林道網と合わせて数値地図25000(空間データ基盤)を用いた。なお、統計解析にはSPSS13.0Jを、GIS処理にはArcGIS9.0Jを用いた。

次に、伐出作業システム6類型がこうした立地要因でどのように特徴付けられるかを定量的に明らかにするためにANOVAを行ったところ、3つの要因で類型に有意差が認められた($p<0.05$)。そこで、立地要因の閾値を探るために類型間の多重比較検定(LSD, 有意水準5%)を行った。要因ごとにその結果を整理すると以下のとおりである。

(1) 地形傾斜

従来型では「林内作業車」(平均21度, 95%信頼区間17~25度) = 「トラクタ」(19度, 3~35度) < 「集材機」(28度, 25~31度)。高性能型では「フォワーダ」(19度, 12~25度) < 「集材機+プロセッサ」(27度, 24~30度)。「トラクタ+プロセッサ」(21

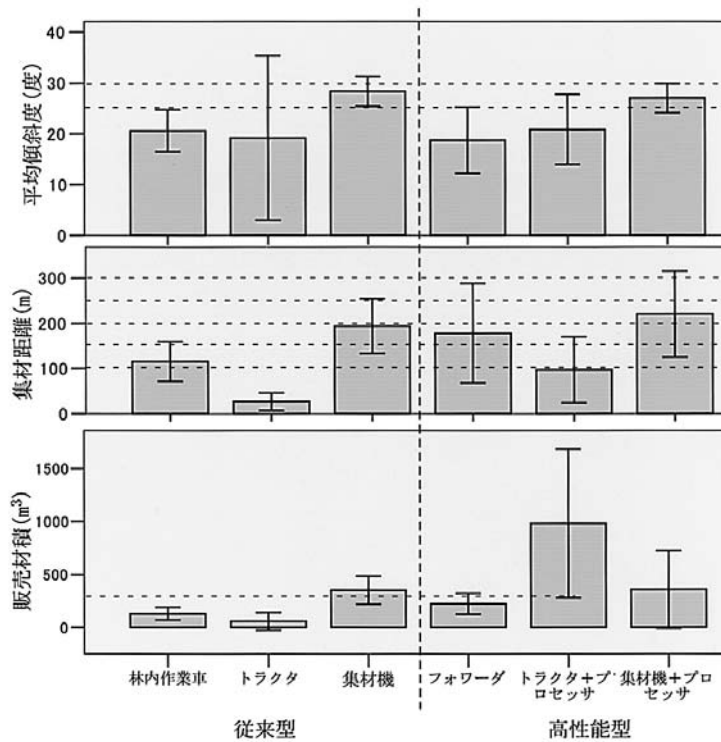


図-2. 立地要因別の伐出作業システム6種類の比較

表-3. 立地条件に基づく伐出作業システムの類型化モデル

タイプ	立地条件		集材距離				
			0~49m	50~99m	100~149m	150~299m	300m ~
従来型	地形傾斜	0~24度	トラクタ	林内作業車	集材機		
		25~29度					
		30度~					
高性能型	地形傾斜	0~24度	トラクタ+プロセッサ	トラクタ+プロセッサ、フォワーダ		フォワーダ	
		25~29度		集材機+プロセッサ			
		30度~					

注) 図中で網掛けの条件下では販売材積が300m³以上で「トラクタ+プロセッサ」型が、それよりも少なければ「フォワーダ」型が特定された。

度, 14~27度)はその中間に位置する。

(2) 集材距離

従来型では「トラクタ」(27m, 7~46m) < 「林内作業車」(116m, 72~160m) < 「集材機」(194m, 134~254m)。高性能型では「トラクタ+プロセッサ」(97m, 24~170m) < 「集材機+プロセッサ」(220m, 125~315m)。「フォワーダ」(178m, 68~288m)はその中間に位置する。

(3) 販売材積

従来型では「トラクタ」(58m³, 0~143m³) 「林内作業車」(129m³, 71~189m³) < 「集材機」(303m³, 176~429m³)。高性能型では「フォワーダ」(224m³, 127~321m³) < 「トラクタ+プロセッサ」(981m³, 280~1681m³)。「集材機+プロセッサ」(437m³, 126~748m³)はその中間に位置する。

以上をもとに、地形傾斜と集材距離の二元について閾値を吟味すると従来型, 高性能型のタイプ別に表-3のように特定することができた。その際、閾値は基本的にそれぞれの95%信頼区間をもとに全国林業改良普及協会(2001)などで示される機械の適用

条件も参考に概括した。このうち高性能型において、地形傾斜が25度未満で集材距離が50~150m未満の条件では「トラクタ+プロセッサ」と「フォワーダ」の2類型が同様に特定された。しかしながら販売材積の多重比較検定によると「フォワーダ」<「トラクタ+プロセッサ」(p<0.05)でその境は約300m³であるから、販売材積が300m³以上であれば「トラクタ+プロセッサ」型が、それより少なければ「フォワーダ」型が採用される傾向にあるということができた。

3. 伐出経費の推計モデルの作成

推計モデルは伐出作業システム類型別に求めた。具体的には1m²あたり伐出経費を外的基準とし、地形傾斜, 集材距離区分, 販売材積を説明変量とする数量化I類によって行った。説明変数のカテゴリー化については地形傾斜と集材距離は上述の閾値によって行い、販売材積はなるべく等しい度数となるように6区分とした。

ところで本来、これまで分析で使用した伐出作業システム6類型について推計モデルの作成を行うべきである。しかしそのまま

数量化分析にかけるには件数が最低6件と過少で安定性を確保できないと考えられたので、今回は従来型、高性能型のそれぞれを車両系、架線系で分類する次の4類型で作成した。①従来型車両系（「林内作業車」型、「トラクタ」型）、②従来型架線系（「集材機」型）、③高性能型車両系（「フォワーダ」型、「トラクタ+プロセッサ」型）、④高性能型架線系（「集材機+プロセッサ」型）。

4類型ごとに数量化I類を行った結果、重相関係数が0.68～0.88の予測式が得られこれらを伐出経費の推計モデルとした（表-4）。モデルの評価を次式の再現誤差率、

$$\text{再現誤差率} = (\text{推計値} - \text{実績値}) / \text{実績値}$$

によって行った。ここで推計値は分析に使用したデータに、類型化モデル（表-3）を適用して伐出作業システムを特定したのち伐出経費の推計モデル（表-4）を用いて求めた。なお、適用する類型化モデルのタイプ（従来型/高性能型）は実績データと同一にした。その結果、再現誤差率の平均値は23.9%（標準誤差5.9%）であった。図-3に示した再現誤差率のヒストグラムと正規曲線から、150%以上を示すデータははずれ値とも考えられる。今後はサンプルデータを増やすとともにこうしたデータの吟味を行ない改善すればさらに再現性は向上すると考えられる。

4. 適用例

今回得られたモデルにはまだ精度向上など課題が残されているが、GISに組み込んで地域森林資源管理に活用されることを想定している。適用可能性を実際に示すために表-3、4のモデルを定式化してGISに組み込み、大分県旧上津江村について評価マップを作成した。国土地理院の数値地図50mメッシュ（標高）から地形傾斜を、県の林道網と合わせて数値地図25000（空間データ基盤）の道路網ベクターデータから集材距離をいずれもGISの内部関数で算出し、従来型と高性能型について表-3の類型化モデル

から得られた結果が図-4、5である。図-6、7は販売材積を200m³に設定して得られた伐出経費の見積マップでそれぞれ伐出作業システムが従来型のケースと高性能型のケースを示す。

今回提示した伐出経費を推計するモデルは、林地の立地条件である地形傾斜、集材距離と販売材積という3要因を説明変量とするものである。その際、伐出作業システムが従来型と高性能型のそれぞれについて推計する。ある林地の傾斜と集材距離は地形が改変されない限り、あるいは最寄に道路が開設されない限り不変であろう。したがって、その推計モデルで得られる値はある販売材積に対する林地の潜在的な伐出経費を表しているといえよう。また、図-6、7に対して、販売材積を500m³などと変化させたマップを作成して比較することで、林地の伐出経費の変化をシミュレーションすることができる。林地周辺の道路開設計画路線をGISに追加すればそれが伐出経費に与える効果を見積もることのほか、伐出作業システムが従来型と高性能型について推計されるので「ある林地について、搬出材積が〇〇m³までは、高性能型よりも従来型の方が伐出経費は安価と見積もられる。」といった活用も見込まれる。

IV. おわりに

今回提示した伐出経費を推計するモデルは主伐に関するもので、林地の立地条件である地形傾斜、集材距離と販売材積という3要因を説明変量とするものである。今後は、サンプルデータを増やして作業システム類型6区分での、伐出経費推計モデルを作成するとともに、伐出経費推計モデルの堅牢性を向上させる必要がある。

最後に、素材生産の経費調査にご協力頂いた大分県下の森林組

表-4. 伐出作業システム4類型別に得られた1m³あたり伐出経費の推計モデル（数量化I類）

区分	説明変量	従来型車両系	従来型架線系	高性能型車両系	高性能型架線系
地形傾斜	0～24度	-87.56	-1311.89	-589.60	72.89
	25～29	-876.20	529.84	951.51	-2915.88
	30+	817.62	-239.70	3631.06	701.64
カテゴリースコアの 集材距離	0～49m	-1633.15	-	-408.41	-
	50～99	-936.80	-229.25	408.63	363.42
	100～149	970.82	-259.56	67.37	-1134.88
	150～299	1383.07	5.65	-760.66	1038.59
カテゴリースコアの 販売材積	300+	2773.55	639.64	1419.93	-657.32
	0～49m ³	-1107.67	-	-	-
	50～99	848.18	1646.29	-75.56	-1175.82
	100～149	598.39	-100.29	2462.88	-1618.74
	150～249	1077.95	140.95	731.14	2636.74
定数項	250～449	-2813.10	-322.11	-347.98	807.09
	450+	-	-129.20	-1097.31	-744.87
カテゴリースコアの 説明変数別範囲	地形傾斜	5859.36	5093.55	5477.58	6557.80
	販売材積	1693.82	1841.74	4220.66	3617.52
	集材距離	3891.05	1968.41	3560.19	4255.48
偏相関係数	地形傾斜	4406.70	1771.34	2180.59	2173.47
	販売材積	0.4466	0.4799	0.6889	0.6807
	集材距離	0.7517	0.4462	0.6522	0.7210
重相関係数	集材距離	0.7958	0.4392	0.5296	0.5407
		0.8757	0.6826	0.7553	0.8291

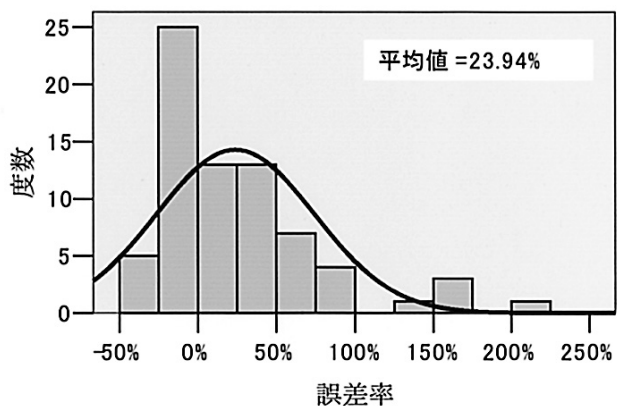


図-3. 再現誤差率のヒストグラム
注) 図中の曲線は正規曲線を示す。

合、森林 GIS データの提供にご協力頂いた大分県森林計画係、伐出作業システムの分類等で助言して下さいました森林総合研究所作業技術研究室岡勝室長、以上の方々にお礼を申し上げます。

(注1) 本来は小班のように森林施業の基本的な単位ごとに適用して伐出経費を評価することが望ましい。今回使用した大分県の森林 GIS では最小単位ポリゴンが小班界でなく地番界であるため、適用例では暫定的に地番ごとに評価した。

引用文献

呉守蓉ほか (2004) 東大農学部演報111: 59-83.
 井上公基・梅田三樹男 (1988) 日林誌70 (10): 447-454.
 野田巖 (2004) 森林技術752: 24-27.
 田中和博 (2002) 山林1415: 2-9.
 田中利美ほか (1992) 43回日林関東支論: 143-144.
 田中利美・大川畑修 (1992) 103回日林論: 637-638.
 田中利美ほか (1993) 104回日林論: 863-864.
 全国林業改良普及協会 (2001) 機械化のマネジメント. 60-161,
 全国林業改良普及協会, 東京.
 (2005年11月11日 受付: 2005年12月5日 受理)

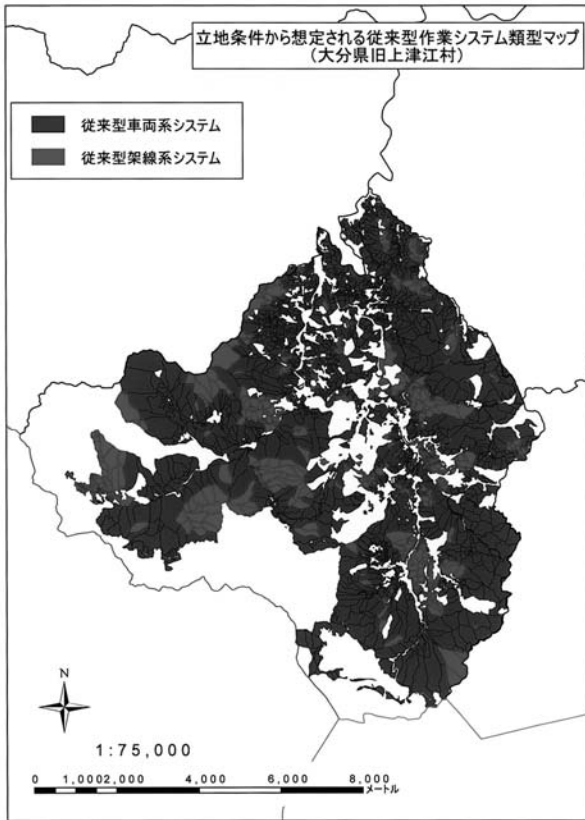


図-4. 想定される伐出作業システム類型マップ (従来型)

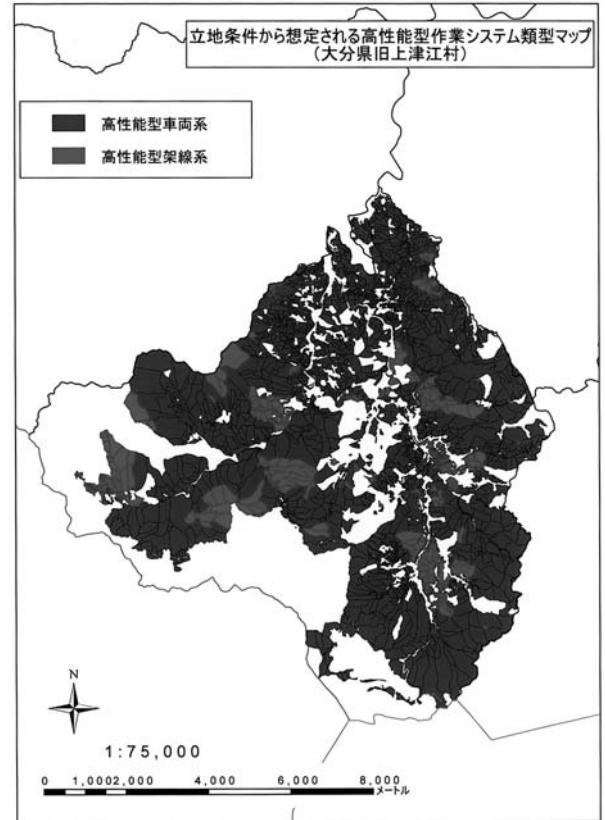


図-5. 想定される伐出作業システム類型マップ (高性能型)

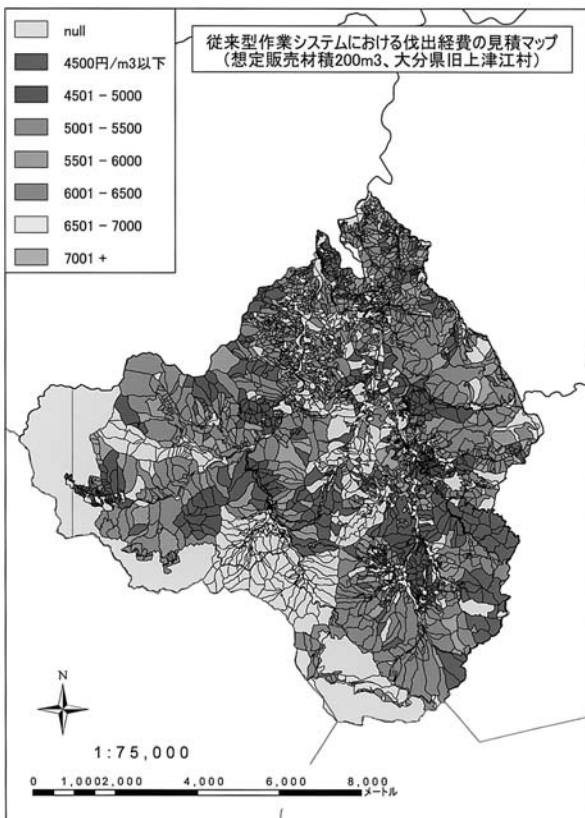


図-6. 販売材積が200m³の場合の伐出経費の見積マップ (従来型)

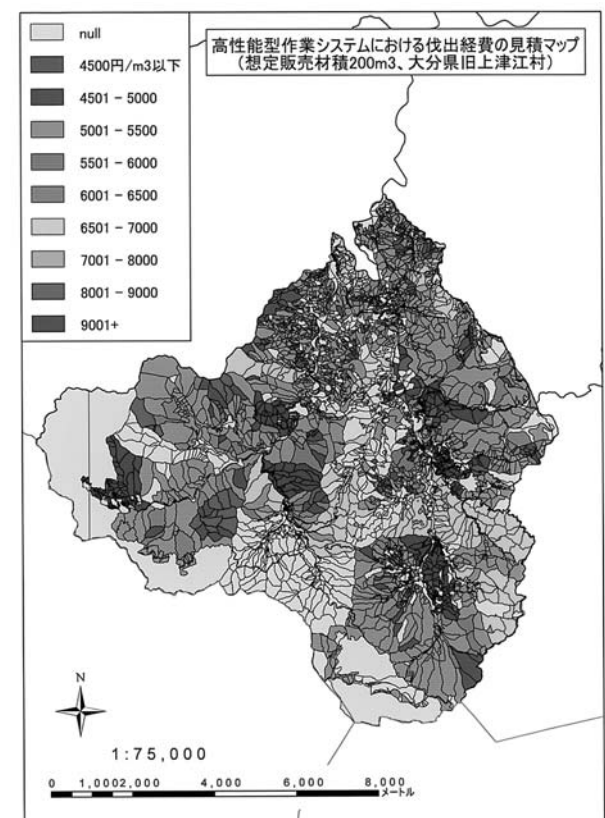


図-7. 販売材積が200m³の場合の伐出経費の見積マップ (高性能型)