

GISによる移動時間および実労働時間の分析 ならびに間伐材搬出コスト推定への応用

Estimation of yarding cost of thinnings based on accessibility analysis by using GIS

島崎 浩司・田中 和博
Shimasaki, K. & Tanaka, K.

キーワード： 移動時間、実労働時間、GPS、GIS、間伐材搬出コスト

要約： 日本の林業は採算性の低下から間伐が滞るなどの問題が生じている。木材の伐採・搬出コストのうち大部分を人件費が占めるため、現場での実労働時間の長さが採算性に大きく影響する。本研究では三重県宮川村を対象地とし、作業用車両、徒歩それぞれの移動時間についてGPS、GISによる分析を行い数理モデルを作成し、それを基に各林地における実労働時間を推定した。さらに、推定した実労働時間を基に一定量の間伐材を搬出する場合のコストの推定を試みた。

Abstract: The information of actual working time on harvesting operation is indispensable to estimate yarding cost, because personnel expenses affect profitability of timber production. In this paper, we made relational models of access time when using vehicle and on foot, and estimated actual working time on harvesting operation. Actual access times of sample courses were measured by GPS and analyzed by GIS. In addition, we estimated yarding cost of fixed amount of thinnings by using relational models of access time.

Keywords: Access time, Actual working time, GPS, GIS, Yarding cost of thinnings

はじめに

国内における木材生産活動は、営利目的の林業としての意義は時代の移

り変わりに伴い薄れつつある。しかしながら、地球温暖化やエネルギー資源の枯渇などの地球規模での環境問題が顕著化する中で、木材生産活動に期待される公益的機能に注目が集まっている。木材生産活動から得られる木質バイオマスは、適切な森林管理の下で再生産が可能な資源であり、特定地域に偏在する有限な化石資源とは違い、広範な地域で入手可能な循環型エネルギー資源として大いに期待されている。また、地球温暖化対策についても、木質バイオマスを利用することで化石燃料の消費を減らすことによるCO₂排出量の削減や、新たな植栽によるCO₂の吸収・固定等において木材生産活動が果たす役割は非常に大きい。そして、古くから地域に根ざして営まれてきた林業は、21世紀の人類社会の最大のテーマである地域性に立脚した循環型社会の構築のために重要な役割を担う基幹産業のひとつである。

持続的に木材生産活動を行っていくためには、国内林業の経済的状況を踏まえれば、育林・伐出作業において有利な地域、すなわち林業経営適地を絞り込む必要がある。また、賦存量が最も大きいといわれる間伐材を木質バイオマス資源として利用するためには、林地で発生し未利用のまま放置されている間伐材を効率的に集荷するシステムの構築が必要である。林業経営適地の選定ならびに間伐材集荷システムの構築のためには、木材の伐採・搬出コストのうち大部分を人件費が占めるため、現地における実労働時間の把握が基礎資料として重要になる。なぜなら、間伐を含め森林管理に関わる作業に対する賃金は一般に日給制を基本とするため、一日の実労働時間が短いほど一定量の仕事に対する人件費の総額は高くつくからである。

本研究では、三重県宮川村を対象地とし、作業用車両と徒歩による各林地までのそれぞれの移動時間について、GPS（汎地球測位システム）によって収集したデータをもとにGIS（地理情報システム）を用いて宮川村全域における実労働時間の推定を試みた。さらに、推定した実労働時間を基に一定量の間伐材を搬出する場合のコストの推定を試みた。

各林地までの移動時間について

間伐対象となる林分に至るまでの移動時間は、作業用車両による移動時間と、徒歩による移動時間の2つに分けられる。つまり、出発点から間伐対象

林分の最寄りの林道までの作業用車両による移動と、そこから間伐対象林分までの徒歩による移動時間に分けられるのである。そして、その往復の移動時間を1日の労働時間から差し引いた時間が、作業現場での実労働時間となる。

1) 4tトラックによる移動時間の推定

宮川村では、木材の運搬には主に4tトラックが使用されている。出発点から各林分の最寄りの林道までの移動時間を推定するには、4tトラックによる移動速度を推定する必要がある。しかしながら、4tトラックは常に一定の速度で走行するわけではなく、回転半径が小さいカーブ等では速度を大きく減速する。そのため、出発点から各林分の最寄りの林道に至る過程での移動速度の変化を考慮した移動時間の推定が必要である。

4tトラックの移動速度の変化に関わる要因としては、道路のカーブのほかに、道路の幅員、傾斜、交差点の有無等が考えられる。このうち、傾斜については、実際に木材の運搬に従事している現地作業員に聞き取りを行ったところ、アクセル・ブレーキがあることから移動速度への影響は少ないとのことであった。また、道路の幅員、交差点の有無に関しては、これを区別するための十分な道路データが現段階で整備されていないことと、信号機のある交差点は村の中心地に1箇所しかないことから、これらの要因については考慮しないこととした。本研究では特に影響が大きいと考えられるカーブについて移動速度の変化を分析することとした。

宮川村役場と宮川村森林組合の協力により、4tトラックにGPS受信機を搭載し、走行中の測位データを収集した(図1)。なお、使用したGPS受信機は、米Trimble社製GPS受信機Geo XTであり、GPS測位を1秒間隔で実施し、同社の製品であるTerra Syncを用いて後処理ディファレンシャル補正を行った。

収集した測位データをGISのポイントデータとして出力し、それぞれの測位時刻より、ポイントデータ間の時間差を求めた。さらに、GISによりポイントデータ間の水平距離を算出し、水平距離を時間差で除すことにより、ポイントデータ間の平均移動速度を算出した。

本研究では、カーブの程度を表現するものとして、まず、道路を100m間

隔で区分し、つぎに、100mの道のりの始点と終点とを結ぶ直線距離Lを算出し、さらに、100mの道のりを直線距離Lで除した値を指標として用いることにした。今回考案したこの指標を、本研究では林道迂回率Cと呼ぶことにした。すなわち、

$$[1] \quad \text{林道迂回率}C = \frac{100\text{mの道のりの長さ}}{\text{始点と終点を結ぶ直線距離}} = \frac{100}{L}$$

林道迂回率は、半径の小さいカーブで大きな値をとり、カーブが連続する場合にも同様に大きな値をとる。また、直線道路の場合には直線距離Lが100mとなるため、最小値1をとる。

GPSを用いて収集した測位データを、道のり100m毎に区分してサンプルデータとして抽出し、それぞれ林道迂回率を算出した。サンプルデータ数は111個となった。さらに、それぞれのデータについて100m移動する際の平均速度をGPSデータから算出し、迂回率との関係を散布図に示した(図2)。なお、林道迂回率の最小値は1であるが、最小値が0になるように変換した方が数学的に取り扱い易いため、以後の解析では林道迂回率から一律に1を差し引いた値、すなわち、林道迂回率-1を指標として取り扱うことにした。

林道迂回率と移動速度の関係を考える場合、交差点の有無は、迂回率に関わらず移動速度に影響すると考えられるため、交差点周辺のサンプルデータを除去し、再び林道迂回率と移動速度との関係を散布図に示した(図3)。交差点付近のサンプルデータを除去した結果、サンプルデータ数は99個となった。

散布図より、林道迂回率が大きくなるに従って移動速度が漸減する傾向が見られる。これは、道のりが等しい距離であっても、その過程においてどの程度のカーブがどれだけ存在するかによって移動に要する時間が大きく変わることを示している。

宮川村内の全路網について、各林地に至るまでの4tトラックによる移動時間を推定するために、林道迂回率と移動速度の関係を関係式で表すこととした。

散布図より、最も当てはまりが良かったべき乗回帰を用いて関係式を算定

した。林道迂回率をCとし、移動速度をSとすると、

$$[2] \quad S = 22.687(C - 1)^{-0.076}$$

の関係が得られ、決定係数は0.55であった(図4)。

宮川村全路網のラインデータをもとに、同村の木質バイオマス発電事業チップ製造工場建設予定地を出発点として各林地までの全てのルートを描出した。循環路網についても、右回り、左回りの区別を行い全てのルートを描出した結果、189通りのルートが抽出された。

それぞれのルート・ラインデータを100m毎のセグメントに分割し、林道迂回率を算出し、[2]式より移動速度を算出した。算出した移動速度で100mを走行する際の移動時間を算出し、チップ製造工場建設予定地から各セグメントまでの移動時間を積算することにより、宮川村全路網についての移動時間を推定した(図5)。循環路網については、より移動時間が短いルートを採用することとした。

2) 徒歩による移動時間の推定

4tトラックにより各林分の最寄りの林道に到着すると、次は徒歩による林内の移動である。徒歩による林内の移動については、傾斜や土地被覆状況の影響が大きいと考えられるが、実際には危険が伴うような地形は避けられ、安全なルートとしてある程度決まった道を歩くのが普通である。つまり、林地の被覆状況や斜面傾斜に応じて、歩道の傾斜が一定値以下となるような緩やかな迂回ルートを選択し、移動すると考えられる。すなわち、出発点と終着点を直線で結んだ場合の傾斜が大きいほど終着点に対して大きく迂回するものと考えられる。従って、水平距離が一定のもとでは、出発点から終着点に至るまでの高度差によって、移動に要する時間が大きく左右されると考えられる。

既存のルートおよび土地被覆状況について詳細なデータを整備するには多大な労力が必要となり、また、汎用性の高い解析手法を採用したいとの方針から、本研究では、出発点と終着点の高度差ならびに直線距離から、移動に必要な時間の推定を試みた。

宮川村民有林のスギ人工林内においてGPSを携帯し、歩行中の測位データを収集し、GISのポイントデータに変換した(図6)。

まず、GPS測位ポイントデータを、始点と終点の水平距離が10mとなるように区分した。それぞれのポイントデータの始点と終点の高度差を求め、さらに、始点の受信時刻と終点の受信時刻の差より所要時間を算出した。これらのサンプルデータを、高度差が正の値となるものを“のぼり”、負の値となるものを“くだり”として散布図を作成した(図7)。“のぼり”のサンプルデータ数は14個、“くだり”のデータ数は12個であった。

図7より、高度差が大きくなるに従って、“のぼり”・“くだり”ともに移動に要する時間が長くなっていることが分かる。この高度差と所要時間の関係を、宮川村全域についてあてはめるために、直線回帰で関係式を算定した(図8)。直線回帰式を用いた理由は、サンプルデータ数が少ないことによる。

あてはめの結果、

$$[3] \quad t = 3.85h + 12.04 \quad R^2 = 0.498$$

$$[4] \quad t = 2.35h + 17.12 \quad R^2 = 0.253$$

ただし、 t ：移動に要する時間、

h ：水平距離10mの高度差

を得た。ただし、[3]式は“のぼり”、[4]式は“くだり”の直線回帰式である。

図8に示されるように、高度差が小さい場合、“のぼり”と“くだり”の所要時間が逆転し、“くだり”の所要時間が長く推定されるという問題が生じるが、林内の歩行による移動時間の算出の際には、往復の時間を求めるため、往路、復路で“のぼり”と“くだり”を区別することにより平均化されるので、この逆転現象を無視することにした。

宮川村全域を含む50mメッシュグリッドデータの各セルより、最も近い林道までの水平距離 D を算出した。さらに、各セルの高度 h_1 と、最寄りの林道の高度 h_2 を50mメッシュ標高グリッドデータから算出し、最寄りの林道と各セルとの高度差 H を算出した。上述の“のぼり”、“くだり”の回帰式は、水平距離10mに対して算定したものであるため、これを水平距離 D の場合に補正する必要がある。“のぼり”、“くだり”の回帰式を、それぞれ $f_u(h)$ 、

fd(h)とすると、各セルまでの所要時間Tu、Tdは、

$$[5] \quad h = \frac{H}{D} = \frac{(h_1 - h_2)}{\frac{D}{10}}$$

$$[6] \quad Tu = \frac{D}{10} \cdot fu(h) = \frac{D}{10} \cdot (3.85h + 12.04)$$

$$[7] \quad Td = \frac{D}{10} \cdot fd(h) = \frac{D}{10} \cdot (2.35h + 17.12)$$

となる。

“のぼり”については[6]式、“くだり”については[7]式により、50mメッシュグリッドデータの各セルに到達するまでの所要時間を推定した。“のぼり”の回帰式より推定した結果を往路、“くだり”の回帰式より推定した結果を復路として、両者を加えることにより、最寄りの林道から各林地までの往復の所要時間を推定した（図9）。

実労働時間の推定

作業用車両、徒歩による移動時間の推定結果を合計したものを各林地までの移動時間とした。一日の最大労働時間を8時間とし、移動時間を差し引くことで実労働時間を算出した。

間伐材生産コストの推定

1) コスト推定法の考え方

2003年に独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構は、宮川村を対象地として、間伐材を利用したバイオマス発電の事業化可能性調査を行った。宮川村は総面積の96%を森林が占め、古くから林業が営まれてきた森林村であるが、他の林業地域と同様に、木材価格の低迷等の影響により、適切な森林管理を継続して実施することが難しくなっており、間伐材の大部分は未利用のまま林内に放置されている状況にある。さらに、村内の宮川ダムでは大量の流木が発生し、ダム管理者が毎年多額の費用をかけてその回収・処理を行っている。

宮川村と同様の問題を抱えている林業地域は国内において少なくとも、同村における間伐材を利用したバイオマス発電の導入に関する調査は、今後他の中山間地域でバイオマス発電を導入する際の貴重な資料になるとともに、地域性に立脚した循環型社会の形成を目指した流域圏づくりのモデル事業としておおいに期待されるものであった。

宮川村の木質バイオマス発電事業化可能性調査では、主要燃料である間伐材の生産コストをいかに低く抑えるかということが最大の課題とされ、京都府立大学大学院農学研究科森林計画学研究室は村役場や関係機関と協働して、村内全民有林を対象として間伐材の搬出・運搬に関わる総コストを試算した。

その考え方は以下の通りである。

- ① 集団間伐を実施することを前提とし、間伐量を 200m^3 とする。
- ② 経費を、人件費と固定費に大きく2分する。
- ③ 伐木・集材作業は、現地での実労働時間の長さ、ならびに、斜面の傾斜による作業能率の影響を受けることから、これらの2要因をもとに必要な人件費の総額を算出することにする。なお、実労働時間については、チップ製造工場建設予定地から各林分までの移動時間を、自動車道、歩道別の距離に基づいてGISにより推定する。
- ④ 搬出コストについては、各林分から最寄りの林道までの距離に応じて算出することにし、これを固定費とする。
- ⑤ 人件費と固定費の合計を求め、総コストとする。
- ⑥ 総コストを間伐材積の 200m^3 で除したものが、 m^3 あたりの生産コストである。

当時は宮川村において木材運搬に主に使用されている4tトラックによる移動時間および徒歩による林内の移動時間を詳細に算出するための十分な資料がなく、林地における実労働時間についてはかなり大まかな解析により算出された。

本研究では、宮川村の木質バイオマス発電事業化可能性調査において用いられた方法に基づき、各林地における実労働時間の推定結果を用いて再度間

伐材生産コストの推定を試みた。

2) 路網からの距離に基づく固定費の算出

宮川村においては、木材搬出には架線、ジグザグ架線、タワーヤーダー等が主に用いられているが、宮川村森林ゾーニングではタワーヤーダーによる搬出を想定して解析が行われている。

タワーヤーダーのワイヤーの総延長は400m程度であるが、宮川村においては村内の平均傾斜を考慮し、木寄せの距離を含め水平距離に換算して林道から約350mが集材可能範囲であるとしている。これより奥地になるとさらに架線を設置する必要がある。(田中、2001)

架線は最大2km程度の延長は可能であるが、一般には1スパンあたり500m程度である。そこで、各林分から木材を搬出する際の、タワーヤーダー及び架線の設置費用を林道からの距離に応じて推定することとした。

集材機等の設置費用は宮川村木質バイオマス発電事業化可能性調査に従い、1本あたりタワーヤーダーは200,000円、架線は500,000円とした。

宮川村村内全路網ラインデータから350m及び500m毎にバッファーを発生させ、森林を区分し、路網から350mの区域内の固定費は200,000円、350mから500mまでの区域内の固定費は500,000円とし、それより奥地の区域は500m毎に500,000円を積算していき、宮川村民有林全域の固定費を推定した(図10)。

3) 搬出・運搬に関わる間伐材生産総コストの推定

宮川村木質バイオマス発電事業化可能性調査の手順に従い、搬出・運搬に関わる間伐材生産コストの推定を行った。

林地における伐木・集材・搬出作業の作業能率については、林況や作業内容、傾斜や作業者の熟練度など、様々な要因が複雑に絡み合っている。今回は、これらの要因の影響を詳細に解析するためのデータが揃わないため、GISで汎用的に扱うことができる傾斜のみから作業能率を便宜的に設定することとし、傾斜0～15°で2.0m³/人/日、傾斜15～30°で1.5m³/人/日、傾斜30～45°で1.0m³/人/日、傾斜45°以上で0.5m³/人/日とした。なお、こ

の数値は、1日の実労働時間を8時間とした場合の数値である。

各林分あるいは林分集団から200m³の間伐材を搬出することとし、傾斜に応じた作業能率で除すことにより実労働時間が8時間の場合の必要人数を算出した。さらに、賃金を15,000円/日/人とし、各林分における実労働時間を基に各林分における人件費を算出した。集材機設置費、人件費の和を搬出・運搬の総コストとして算出した(図11)。

図11に示した搬出・運搬に関わる総コスト推定結果は、上記の仮定のもとにGISによって得られた結果である。したがって、算出結果の検証が必要となる。

ここでは、宮川村木質バイオマス発電の事業化可能性調査において、宮川森林組合、フォレストファイターズ、藤原林業に対して実施された間伐材搬出コストアンケート調査結果と比較することにより、GISによって得られた結果の適否を判定し、推定値の調整を試みた。

アンケート調査では、伐木・枝払い・玉切り・集材・搬出の各作業における労働生産性、すなわち、1人1日あたりどれだけの仕事量をこなすことができるかを丸太材積(m³)で示したものが調査された。対象地は全部で9箇所である(図12)。解析には、そのうち資料としての要件を満たしていた8箇所のデータを用いることとし、伐木から搬出に至るまでの全過程に対する労働生産性で比較することにした。

図13はアンケート調査の結果得られた生産性と、同林分についてのGISによる生産性の関係を示した散布図である(図13)。図13に示されるように、アンケート調査の対象地は、GISで推定した労働生産性の値が1.5m³になる地点に集中しており、両者の比較を行うには不十分といえるが、全体の傾向として両者の間に比例関係を想定することは差し支えないものと判断した。総コスト、すなわち、人件費と固定費の合計について、GISによる推定値に対するアンケート調査結果の値の比を求め、相乗平均を求めたところ、

[8] アンケート調査結果の総コスト = 1.55 × GISによる推定総コスト

という結果が得られた。

[8]式に従い、GISにより推定した生産コスト算出結果を調整した(図

14)。

4) 間伐材生産コスト別の森林資源量

200m³の間伐材を伐木してから搬出するまでの総生産費について、アンケート調査結果に基づいて調整した値を用いて、宮川村内の全人工林について、総生産費別の人工林面積を生産林（宮川村森林ゾーニングにおいて資源の循環的利用林に区分された森林）、環境林（資源の循環的利用林以外の森林）別に求めた（図15）。

今回の解析結果では、総生産費が350～400万円となる林地が最も多く、生産林において特にその割合が大きい。環境林においては1,000万円以上となる林地も存在した。生産林においては、総生産費が500万円以上となる人工林面積が、生産林内人工林面積の約30%を占めていた。

総生産費を間伐材積の200m³で除した値は、m³あたりの生産コストである。宮川村内の全人工林について、m³あたりの生産コスト別の人工林面積を生産林、環境林別に求めた（図16）。

環境林、経済林ともに18千円となる人工林が多く、環境林については26千円から28千円となる人工林も多く、50千円以上の人工林も存在した。

おわりに

本研究では、三重県宮川村を研究対象地として、GISを用いて移動時間分布図ならびに実労働時間分布図を作成し、その結果をもとに、GISを用いた間伐材搬出コスト分析を試みた。多くの仮定の下に分布図を作成し、解析を行ったものであるが、GISを応用した一連の解析手法を提案することができた。

間伐材搬出コスト推定結果を検証するために、宮川村バイオマス発電事業化可能性調査において実施されたアンケート調査結果を用いた。しかし、調査地の数が少なく、また、搬出条件の良い林地があまり含まれていなかったことが、解析結果に影響していることが考えられる。したがって、総生産費の推定結果の調整については再度検討が必要である。

作業用車両による移動時間および各林地に至るまでの徒歩による移動時間

についてはGISを用いた詳細な解析を行うことにより、50mメッシュという詳細な単位での各林分への移動時間区分図を作成することができた。これについても、今後さらに調査事例を増やし、移動時間の精度を向上させていく必要があるが、今回の研究により、移動時間を解析するための基本的なモデルを構築することができた。

各林地における移動時間を差し引いた実労働時間は、間伐材の生産のみならず、あらゆる森林管理についても重要な条件であると考えられる。今回の研究では出発地点にチップ製造工場建設予定地を用いたが、例えば、森林組合の事務所を出発点とした移動時間の区分図は日常的な森林管理業務において必要である。また、木材市場を出発点とした移動時間の区分図等は、今後各地で行われる森林ゾーニングの際にも、経済的条件から森林を区分するための有用な基礎資料になりうると考えられる。

以上のとおり、本研究によりGISを応用することにより、森林管理に関する各種の解析や分布図の作成が比較的容易に実施できることが示された。解析結果や推定結果の精度を向上させるためには、今後ともGPSを利用した調査事例を増やしていくことが必要であるが、そのためには現場で実際に作業をされている方々の協力を得ることが不可欠である。本研究が、現場関係者との共同研究の契機になれば幸いである。

最後になりましたが、三重県宮川村役場をはじめ、本研究にご協力を賜りました関係者の皆様に心よりお礼申し上げます。

引用文献

- 赤堀聡之 2001. 地球温暖化問題とわが国森林・林業分野の展望. 林業技術. **708**: 34-36.
- 藤森隆郎 2003. 新たな森林管理—持続可能な社会に向けて—. 社団法人 全国林業改良普及協会. 1-403.
- 堀田庸 1999. CO₂問題と森林・林業・林産業の研究展開. 林業技術. **682**: 19-24.
- 小島健一郎 1999. 木質バイオマスの利用によるCO₂の削減策とその社会的効果—スウェーデンの事例を参考に—. 林業技術. **682**: 25-30.



図1. 4t車にGPS受信装置を搭載し収集した測位データ

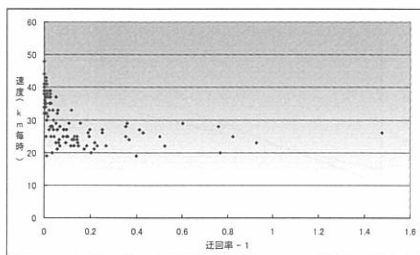


図2. 迂回率-1と速度の関係

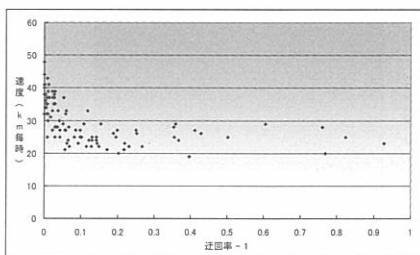


図3. 迂回率-1と速度の関係 (交差点付近サンプル除去)

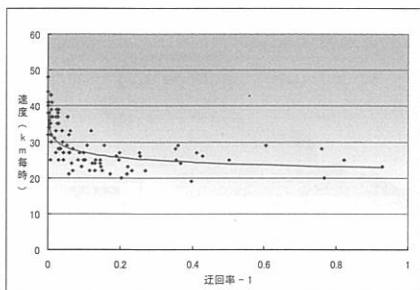


図4. 迂回率-1と速度のべき乗回帰曲線



図5. 迂回率に基づく村内全路網の移動時間推定図

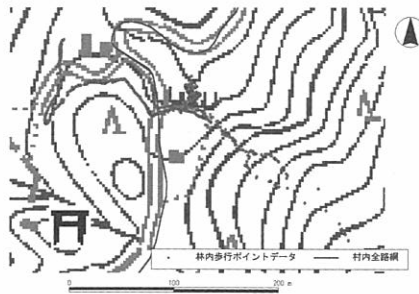


図6. 林内歩行中のGPS測位データ

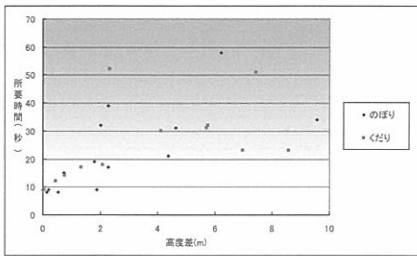


図7. 高度差と移動に要する時間の関係

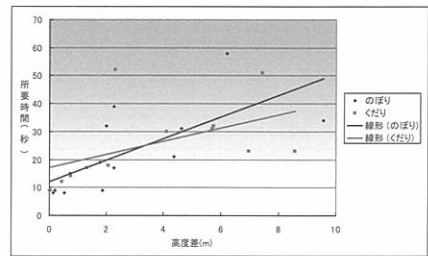


図8. 高度差と移動に要する時間の回帰直線



図9. 高度差より推定した徒歩による林内移動時間推定結果



図10. 集材機設置費用区分図



図11. 間伐材推定総生産費算出結果



図12. アンケート調査地

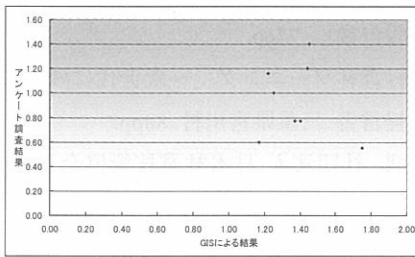


図13. GISによる生産性の推定結果とアンケート調査による生産性の関係

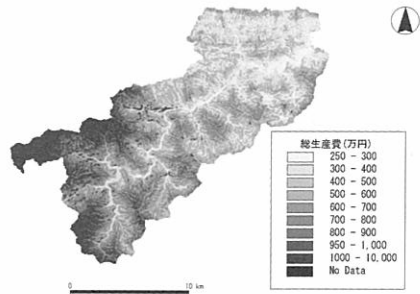


図14. 間伐材総生産費算出結果

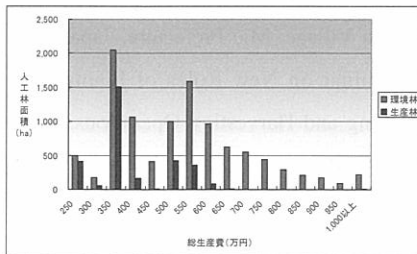


図15. 総生産費別人工林面積頻度分布

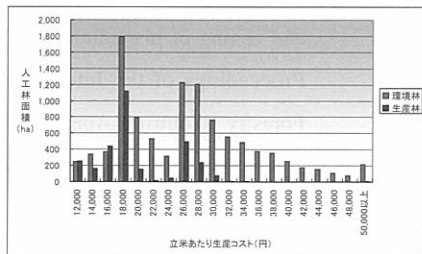


図16. 立米あたり生産コスト別人工林面積頻度分布

- 熊崎実 1998. 森林・木質資源を活用した循環型システムの構築—林業再生と温暖化防止に向けて—. 林業技術. **679**: 2-6.
- 西野吉彦・北野大輔 2000. エネルギー供給源としてのスギ人工林の活用に関する試算. 木材工業. **55**. No.5: 211-215.
- 農林水産省 農林水産技術会議 2003. 地球温暖化の防止に関わる森林の機能. 農林水産研究開発レポート. **8**.
- 三重県 2001. 森林区分に基づく新たな森林管理の展開. 森林環境創造事業. リーフレット、8pp.
- 三重県森林保全課 2001. 平成12年度宮川流域森林ゾーニングモデル事業報告書. 42pp.
- 三重県宮川村産業課 2001. 宮川村森林ゾーニング 次世代に残すべき豊かな森林形成（大杉谷地区作業経過報告書）. 77pp.
- 宮川村森林ゾーニング検討会 2002. 宮川村森林ゾーニング ～次世代に残すべき豊かな森林形成～ 調査・提言書. 三重県宮川村. 88pp.
- 林野庁 2003. 平成14年度 森林・林業白書. 社団法人 日本林業技術協会. 1-283.
- 田中和博 1999. モデルフォレスト設定のための基礎的要件と三重県宮川流域における課題. 森林計画誌. **33** : 51-57.
- 田中和博 2002. 次世代に残すべき豊かな森林形成を目指して —三重県宮川村森林ゾーニング中間報告—. 山林. **1415** : 2-9.
- Yoshida, T., Tanaka, K., Urashima, A., Shimasaki, K. & Katakami, T. 2002. Evaluation and zoning of plantations in Miyagawa Village, Mie Prefecture, Japan. In Proceedings of the International Seminar on New Roles of Plantation Forestry Requiring Appropriate Tending and Harvesting Operations. *The Japan Forest Engineering Society*. 480-490.