

木材搬出ネットワーク最適化と森林伐採計画 (I)

— 木材搬出ネットワークモデルの構築 —

宮崎大学農学部 鍋島 正彦・吉本 敦
行武 潔

1. はじめに

効率的な林道網の整備は、木材搬出費用を軽減する際の最重要課題の一つである。一般に林道網の効率性の評価には、利用区域の森林面積及び蓄積の規模から算出される林業効果指数¹⁾及び輸送の対象となる木材の量が用いられている²⁾が、実際に利用される搬出経路等は考慮されておらず、それゆえ導かれる評価値は現実的な木材搬出を反映したものとは言い難い。そこで、本研究では、実際の林道網を対象に、木材搬出費用最小化を目的とした場合の最適搬出経路を導くことにより、林道網の効率性を分析した。分析には、Yoshimoto³⁾の構築した数理計画法モデルを基に、宮崎県諸塚村における林道網を対象にした。以下、その方法と結果について報告する。

2. 諸塚村道路ネットワーク

木材搬出費用最小化問題を定式化するにあたり、まず、諸塚村内の林道網を以下の方法によりネットワーク表記する必要がある。まず林道網を細かい路線に分割し、分割された路線網をノードとアークを用いて再表現する。次にそれぞれのノードとアークを番号により区別し、林道網をネットワーク表記に変換する。

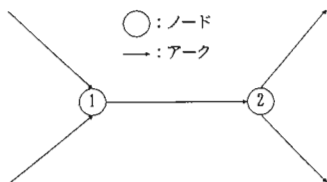


図-1 ノードとアークの例

図-1にノードとアークの関係を示した。ここでノードとは路線と路線が結合される点を意味し、ノード間の路線がアークである。本研究では、各林班において伐採される木材は最寄りのノードに伐出されるものと仮定する。諸塚村の林道網では、ノードの数は合計335、アークの数は合計441となった。

3. 木材搬出経路最適化問題の定式化

ここで考慮する問題は木材搬出費用最小化問題であるので、目的関数は

$$(1) \min Z = \sum_{i=1}^T \sum_{k=1}^I CO_{i,k} \cdot XV_{i,k}$$

となる。ここで、 $XV_{i,k}$ 、 $CO_{i,k}$ はそれぞれ計画第*t*期に第*i*番目のアークを利用して搬出される木材の材積を表す変数とそのアークにおける材積1m³当たりの輸送費用である。*I*はアークの数、*T*は計画期間の数を表す。制約条件は以下の通りである。*S*を林班に隣接するノード(最寄りのノード)の集合、 $SV_{k,t}$ ($k \in S$)を林班から計画第*t*期に第*k*番目のノードに直接搬出される木材の材積とすると、

$$(2) \sum_{i=1}^I A_{k,i} \cdot XV_{i,t} - SV_{k,t} = 0 \text{ for } k \in S, t = 1, T$$

となる。(2)式は各林班から搬出される材積が最寄りのノードに運搬されることを制約するものとなる。ただし、 $\{A_{k,i}\}$ は木材搬出の方向関係を表す(KxI)行列で、その要素は第*i*番目のアークが第*k*番目のノードから出ていくものであれば1、入ってくるものであれば-1、その他の場合は0の値となる。ただし、*K*は全ノードの数である。次にその他のノード($k \in S$)については、各ノードに入ってくる木材の材積とそこから出ていく材積の量は等しくなくてはならないので、

$$(3) \sum_{i=1}^I A_{k,i} \cdot XV_{i,t} = 0 \text{ for } k \in S, t = 1, T$$

最後に木材の搬出量は非負であるので、

$$(4) XV_{i,t} \geq 0 \text{ for } \forall i, \forall t$$

となる。

4. シミュレーション分析

ここでは、計画期間を1期(5年)、伐採対象樹種をスギ(*Cryptomeria japonica*)、その伐期齢を林齢35年とし、施業方法は皆伐または部分皆伐と仮定し分析を行った。

また、諸塚村から搬出される木材は全て東郷町の原木市場に出荷されるものとする。これらの仮定を用いて、次の3つのシナリオに対し林道網の効率性について分析を行った。Case 1: 伐期齢以上の林分を全て伐採する場合、Case 2: 計画期間内において全てのトラックを活用し、木材を搬出する場合、Case 3: 全てのトラックを活用し、かつ森林所有者間の伐採機会の平等性を考慮する場合。全てのトラックを活用する場合は、諸塚村の木材搬出の現状に則して4tトラック(6m³積み)を10台用いることとし、1台当たり1日2回、年365日の木材搬出を1期間(5年)行うと仮定した。また、伐採機会の平等性については、諸塚村を自治公民館と1企業の社有林を基準とした15の地区に区分し、各地区に対して伐採可能な資源量の比率に応じた量を伐採すると仮定した。

Case 2のシナリオの基では、トラックの台数により伐採量の上限UVが課せられるため、

$$(5) \quad XV_{i,t} \leq UV$$

となる。また、今回の分析対象地では伐採可能な資源はUV以上なので、最終目的地での木材の量はUVとなる。

$$(6) \quad XV_{e,t} - UV = 0$$

ここで第e番目のアークは原木市場に連結するものとする。また、搬出されずに積み残される木材の存在を可能にする必要があるので(2)式を、

$$(7) \quad \sum_{i=1}^I A_{k,i} \cdot XV_{i,t} + Y_{k,t} - SV_{k,t} = 0 \text{ for } k \in S, t = 1, T$$

とした。ここでY_{k,t}は、第k番目のノード(林班に隣接するノード)に積み残された木材の材積を表す。

次にCase 3については、伐採機会の平等性を伐採可能資源量の比率を基に以下のように定義した。HC_{j,t}を計画第t期における全伐採可能資源量に対する第j番目地区の伐採可能資源量の比率、L_jは第j番目の地区に属する林班が直接木材を搬出するノードの集合、Jを地区の数とし、

$$(8) \quad \sum_{i \in L_j} XV_{i,t} - HC_{j,t} \cdot V_0 = 0 \text{ for } t = 1, T, j = 1, J$$

を地域間の伐採機会平等性制約とした。すなわち、(8)式は、第j番目の地区に属する林班から搬出される木材の材積の合計は第j番目の地区に割り当てられた伐採量と等しくなることを意味する。ここで、V₀は計画期間内において全トラックを活用した場合に搬出可能な木材の材積を表す。路線種類別の利用率を基に、分析の結果を表-1に示す。

表-1 路線種類別の利用率

区分	Case 1 (%)	Case 2 (%)	Case 3 (%)
道路網全体	54*	26	33
国・県道	94	30	58
村道	37	20	22
大規模林道	36	47	60
広域基幹林道	100	55	10
林道	78	10	38

*は道路網全体に占める割合

5. 結果と結論

本研究では、数理計画法を用いて諸塚村最適木材搬出経路の算出を行い、実際に搬出経路を考慮した林道網の効率性について分析を行った。まず、伐期齢以上の林分を全て伐採することを仮定した場合(Case 1)、全路線の約54%が搬出に利用され、その内広域基幹林道は全て利用される結果となったが、その他のものについては利用されないものが生じた。すなわち、諸塚村では、現在伐期齢に達した林分を全て伐採したとしても、木材搬出に利用される林道は一部に限られることが分かった。次に利用可能なトラックを全て活用し、期間内の伐採量に上限を設定した場合(Case 2)、全路線に占める利用搬出路線は26%となり、上記の54%の利用率を大きく下回った。また更に森林所有者間の伐採機会の平等性を仮定し、伐採箇所を広域に割り振った場合(Case 3)においても利用搬出路線は全体の33%とわずかに増加したものの、全路線の大部分が利用されない結果となった。林道の種類別では、Case 2で広域基幹林道が最大55%、Case 3では大規模林道が60%と最高利用率を示し、森林伐採計画によって、最適な木材搬出経路が変化することが分かった。上記の結果より、最適木材搬出経路は森林伐採計画により大きく変化することが分かる。今後、より現実的な林道網の効率性を分析するには森林伐採計画問題と結合したより実用的な木材搬出ネットワークモデルの構築を行う必要がある。

引用文献

- (1) 林内路網研究会: 林業機械化と新たな路網整備, 49~53, 日本林業調査会, 1992
- (2) 日本林道協会: 林道規程 - その解説と応用 -, 20~24, 日本林道協会, 1986
- (3) Yoshimoto, A.: Tactical harvest scheduling using zero-one integer programming, J. of For. Plan. 2, 13~24, 1996