 論文

木材コンビナートにおける生産計画のシミュレーション*

青柳修平**・竹内公男***

青柳修平・竹内公男：木材コンビナートにおける生産計画のシミュレーション 森林計画誌 36：31～45, 2002

新潟県山北町に開設される木材コンビナートにおける生産計画を想定した木材生産活動モデルを構築し、シミュレーションを行った。なお想定した生産計画は、3ヶ月後までの販売予測量によって生産計画量を立案する計画Aと、平均需要に基づいて製品生産計画量を計算する計画Bの2つのタイプである。シミュレーションの結果、計画Aでは、月あたりの平均在庫量を低減でき、計画Bでは在庫不足がなく、原木集荷量の変動が少なかった。したがって、計画Bを計画Aの月あたりの平均在庫量に近付ける修正をするため、感度分析を行った。その結果、計画Bに対し、選別後原木、剥皮後原木の在庫目標値と製品生産計画量を計画Bの95%に設定し、過剰在庫の際に平均需要の2/3にあたる量を製品生産計画量とするように修正するとよいことが示され、この修正計画を計画Cとした。なお、計画Cと計画Aの月あたりの平均在庫量の差は住宅4棟分弱(92m³)でしかなかった。

Shuhei AOYAGI and Kimio TAKEUCHI : Simulation of production planning for the wood industrial complex. *Jpn. J. For. Plann.* 36 : 31~45, 2002 A timber production information system for timber production planning to be applied to the wood industrial complex in Sanpoku town, Niigata prefecture, is described and the results of simulation reported. Firstly, two types of plans were introduced. Plan A gave the sawn-timber production plan using sales forecasts for three months ahead. Plan B gave the sawn-timber production plan using the past average demand for sawn-timber. Simulation by a one-month unit during 120 months showed that with Plan A the amount of an average inventory per month decreased, and with plan B an inventory shortage did not occur and the demand fluctuation for roundlog decreased. Then sensitivity analysis was performed for Plan B to approach the amount of an average inventory per month of Plan A. Next, Plan B was modified to make Plan C. In Plan C, target stock of sorted log and peeled log, and the expected amount of sawn-timber production were set at 95 % of Plan B, and when overstock was predicted, the amount of sawn-timber production was decreased to 2 / 3 of the past average demand. The difference of average inventory per month between Plan A and Plan C was decreased to 92 m³. With Plan C, an inventory shortage can be avoided. In addition, demand fluctuation for roundlogs can be decreased and the average inventory per month can be decreased.

I. はじめに

日本における木材重要は高い水準にあるが、木材流通の国際化が進展する中で国内需要に対する国産材供給割合は低迷を続けており、近年は20%前後の低い水準で推移している。さらに阪神大震災を契機として住宅建築基準法が従来の仕様規定から性能規定に変わったことと新築住宅における10年間の瑕疵補償制度が定められたことに伴って、住宅用構造材としての国産材

の地位はますます前途が危ぶまれる状況に至っている。国産材が不振である主要な要因として、国産材の木材生産コストの高さ(13)、乾燥工程の不完全さ(21)、そして流通機構の不透明さ(7)などが指摘されている。これらの問題を解決し、国産材の利用を拡大するための対策として、地域における木材生産機能を集中化して、規模の拡大、加工の高度化、流通体制の整備を目的とする木材コンビナートの設置が国内各地で進められている。

* 本論文の一部は第112回日本林学会大会でポスター発表した。

** 新潟大学大学院自然科学研究科 Graduate School of Science, and Technology, Niigata University, Niigata 950-2181

*** 新潟大学農学部 Faculty of Agriculture, Niigata University, Niigata 950-2181

このような国産材の状況の下で国産材需要を高めるためには、木材の生産と加工の現場を地域単位で一体化し、需要に効率よく対応するための木材生産管理システムを地域単位で確立することが急務である。このようなシステムはすでに加藤(11)が構想として提案しているものであるが、その構想はまだ実際的なシステムとして普及するところまでには至っていない。一方、一般の製造業等の生産管理においては、サプライチェーンマネジメントをキーワードとする多数の研究事例がみられるが、その成果を木材生産管理に具体的に適用した研究事例はほとんどみられない。

筆者らは新潟県内のローカルな木材生産地を事例として、このようなシステム作りの検討を進めてきたが、伝統的な形態の小規模な林家、素材生産業者、製材工場などを連結するだけでは統一したシステムを運用するには限界があった。しかし、平成13年度からその対象地域に木材コンビナートが建設されることになったことから、従来の研究を木材コンビナートの中に取り込むことを検討する機会が生まれた。そこで筆者らはこれまでの検討結果をふまえて、国産材を対象とするローカルな木材コンビナートを想定した地域の木材生産管理システムを検討することとした。

製造業等の生産管理システムにおいては、従来は工場における生産体制においては品質管理システムが中心となり、工場から先の流通・販売においてはロジスティクスシステムが中心となってきたが、近年は生産・流通・販売のシステムを統一して扱うサプライチェーンマネジメントの概念が普及しつつある(10, 18, 19, 20)。しかし、筆者らがモデルとする木材コンビナートはまだスタートしたばかりであり、流通・販売までを含んだ情報が十分に得られないことから、本論ではサプライチェーンマネジメントの概念を念頭におきながら、総合的な木材生産管理システムの第一段階としての木材生産計画の局面のみを対象とした。

サプライチェーンマネジメントにおける生産システムでは、製品に対する需要を迅速に満たすことを条件として、工場での各工程で材料あるいは製品の在庫を極力減らすことを目標とする。このことを本論での木材コンビナートに位置づけると、工務店からの製材品需要に対して迅速な供給ができることを条件として、原木から製材・加工の各工程における在庫量をできるだけ減らすことを意味する。ただし、木材コンビナートでは地域材の利用を前提とすることから、木材生産計画には原木の安定供給、すなわちコンビナートの原木集荷量の安定化も重要な要因として考慮する必要がある。そこで、本論における木材生産計画では、①需要に対して供給不足をできるだけ発生させないこと、②コンビナート内各工程における在庫量をできるだけ

減らすこと、③原木の集荷量をできるだけ安定化させることの3点を目標とする生産計画をモデルによるシミュレーションによって検討し、木材コンビナートに適した生産計画への接近を目指した。

II. 木材コンビナート

ここでは、本論がモデルとして考える新潟県山北町に建設される木材コンビナートの概要を説明しておく。このコンビナートは平成13年度より建設が始まったものであり、目下建設途中であるので、ここでの説明は計画書に基づく(16)。

建設される主な施設は、原木ストックヤード、中目材と小径木を加工する製材工場2つとそれに付帯する乾燥・修正挽き工場、集成材工場、そして製品ストックヤードである(図-1)。集成材工場はラミナー生産ライン、乾燥ライン、集成材加工ラインからなる一貫工場である。

コンビナートで使用される原木は全て原木ストックヤードから供給される。原木ストックヤードでは原木はまず選別機により2つの製材工場と1つの集成材工場向けに選別された後一時的にストックされ(選別後原木)、次にそれぞれの加工施設での生産計画に沿って剥皮施設に送られる。そして剥皮後の原木(剥皮後原木)は、ベルトコンベアによって2つの製材工場と1つの集成材工場のいずれかに流される。中目材と小径木を加工する2つの製材工場では製材された製品は乾燥・修正挽き工場を経て製品ストックヤードに運ばれる。また集成材工場で生産された製品も同様に製品ストックヤードに運ばれる。そこから木材業者に販売されるラインと既存のプレカット工場を経て大工・工務店へ流れるラインに分かれる。このほかにコンビナートと既存の地域内製材工場の間を流通する木材の流れがあるが、それらはコンビナートの規模に比べると極めて小さいので本論では考慮しなかった。

この木材コンビナートでは、産地全体を1つの事業体と見なし、活動情報を産地全体の情報として管理し、効果的に活用するための情報システムとして森林GISと原木需給調整情報を対象とする「森林・林業支援システム」、産地を消費者にアピールする「山北地域情報システム」、住宅販売の物流を対象とする「オンラインCAD支援システム」、製材品販売の物流を対象とする「オンライン受発注システム」が想定されている。このうちの「オンライン受発注システム」は「山北材生産計画」、「山北材在庫情報」、「山北材配送計画」の3つのサブシステムから構成され、「山北材生産計画」はその中核となるものである。しかしこれらの情報システムはいずれも構想段階のものにとどまってい

図-1 木材の流れ
Flow of timber.

るため、具体的な内容は未知である。本論で検討する木材生産計画は、この「山北材生産計画」にあたるものである。

サプライチェーンマネジメントでは、納期の明確化と短縮化を俊敏性(8)というが、数カ月に及ぶ木材生産・加工過程と、俊敏な販売活動を両立させるには、木材の流れが迅速に把握できるような情報ツールが必要になる。これに対して、筆者らは、新潟県山北町の木材生産活動をモデルとして、製品ストックヤードの設置を想定した在庫管理のシミュレーション分析を行ってきた(1,2,3,4,5)。本論は、これまで構築してきたモデルを拡張し、「オンライン受発注システム」の中の「山北材生産計画」にあてはめることを想定している。

Ⅲ. モデルの構成

1. 生産計画の計算過程

本論では後で二つのタイプの生産計画を比較検討するが、ここではそれらに共通する部分の計算過程を図-2に示す。図-2は原木の集荷から製品の販売に至る生産過程において数値として現れる局面を書き出し

たものであるが、生産計画量として決められるのは、「当月の製品の生産計画量(I)」、「当月の原木の剥皮計画量(q)」、「当月の原木の集荷計画量(t)」の3つの部分である。これらは、毎月変動する選別後原木(b)、剥皮後原木(d)、製品の月初在庫量(f)、および過去の需要データから求められる当月の販売予測量(g)を用いて計算される値である。図中で★印をつけた製品の生産要求量(m)、剥皮後原木の翌月の月初在庫目標値(s)、そして選別後原木の翌月の月初在庫目標値(v)は、生産計画のタイプにより入力値が変わる。なお本論でいう販売予測量とは、製品ストックヤードから出荷される量のことを指す。計算過程における制約条件として選別後原木、剥皮後原木および製品の各最大在庫可能量(a, c, e)、全製材工場の合計生産可能量($\text{m}^3/\text{月}$)(n)が与えられる。原木集荷量については特に制約をもうけずに計画した量が必ず集荷されることとした。なお、原木と製品の間の歩留まりを全て0.65に設定した。

(1) 製品の生産計画量

当月の製品の生産計画量(I)は以下のように計算する。

$$I = f - g$$

図-2 生産計画の計算過程
Calculation process of the production planning.

$$h = e - i$$

$$l = \min(h, m, n, d * 0.65)$$

i : 製品の繰越計画量

f : 製品ストックヤードにおける月初在庫量

g : 当月の販売予測量

h : 製品の在庫可能性

e : 製品の最大在庫可能性

m : 製品の生産要求量

n : 全製材工場の合計生産可能性

d : 剥皮後原木の月初在庫量

(2) 原木の剥皮計画量

当月の原木の剥皮計画量(q)は以下のように計算する。

$$k = d - l / 0.65$$

$$r = s - k$$

$$j = c - k$$

$$q = \min(r, j, b)$$

k : 剥皮後原木の繰越計画量

d : 剥皮後原木の月初在庫量

l : 製品の生産計画量

r : 原木の剥皮要求量

s : 剥皮後原木の翌月の月初在庫目標値

j : 剥皮後原木の在庫可能性

c : 剥皮後原木の最大在庫可能性

b : 選別後原木の月初在庫量

(3) 原木の集荷計画量

当月の原木の集荷計画量(t)は以下のように計算する。

$$p = b - q$$

$$u = v - p$$

$$o = a - p$$

$$t = \min(u, o)$$

p : 選別後原木の繰越計画量

b : 選別後原木の月初在庫量

q : 原木の剥皮計画量

u : 原木の集荷要求量

v : 選別後原木の翌月の月初在庫目標値

o : 選別後原木の在庫可能性

a : 選別後原木の最大在庫可能性

2. 過剰在庫をさけることを目標とする生産計画 (計画A)

前項で説明したモデルの基本構造の下で, 3つの部分の生産計画量を定める方式として以下の二つのタイ

プを想定する。一つは、過剰在庫をできるだけ避けることを目標とする計画でこれを計画Aとする。この計画Aは当月、翌月、2ヶ月後、3ヶ月後のそれぞれの販売量の予測値を計画に利用する。販売される時期に対応する販売予測値によって各計画量を計算すると、予測される販売量に見合う量だけの製品が生産されるため、過剰在庫を避ける効果がある。すなわち、翌月販売予測値(x)の材積に相当する製品生産計画量(l)を計算し、2ヶ月後販売予測値(z)の原木換算値に相当する原木剥皮計画量(q)を計算し、3ヶ月後販売予測値(aa)の原木換算値に相当する原木集荷計画量(t)を計算するのである。

ここでの計画量の計算過程は図-3の通りであり、図中で★印をつけた製品の生産要求量(m)、剥皮後原木の翌月の月初在庫目標値(s)、そして選別後原木の翌月の月初在庫目標値(v)は以下の通りに求められる。

(1) 製品の生産要求量

当月の製品の生産要求量(m)は以下のように計算する。

$$w = x + y$$

$$m = w - i$$

w : 製品の翌月の月初在庫目標値

x : 翌月の販売予測値

y : 製品の安全在庫量

i : 製品の繰越計画量

- (2) 剥皮後原木と選別後原木の翌月の月初在庫目標値
剥皮後原木の翌月の月初在庫目標値(s)と選別後原木の翌月の月初在庫目標値(v)は以下のように計算する。

$$s = (z + y) / 0.65$$

$$v = (aa + y) / 0.65$$

z : 2ヶ月後の販売予測値

y : 製品の安全在庫量

aa : 3ヶ月後の販売予測値

3. 原木集荷量を安定化させることを目標とする生産計画 (計画B)

もう一つのタイプの生産計画は、コンビナートへの原木集荷量の変動をできるだけ小さくすることを目標とする計画であり、これは地域における素材生産活動を安定化させることを狙ったものである。これを実現させるためには、基本構造の計算過程の下で製品生産量を安定化させればよいとすればよいことが既往の検

図-3 計画Aの計算過程
Calculation process of Plan A.

図-4 計画Bの計算過程
Calculation process of Plan B.

計から導かれている(3, 5)。ここで製品生産量は、製材工場から製品ストックヤードへの入庫量である。そこで計画Bでは製品ストックヤードへの入庫量を安定化させる計算手順(1)を、以下のように本論の生産計画に適用した(図-4)。なお、計画Bには、過去の需要情報と各ストックヤードの月初在庫量情報(b, d, f)に加え、過去12ヶ月に販売された1番若い製品の製品ストックヤードでの在庫期間情報(am)および、当月と翌月に販売される見込みの1番若い材の予想在庫期間情報(al)も利用する。そして先に製品ストックヤードに入庫した製品から順番に販売されていく、すなわち先入先出によって製品が販売されるとした。

製品の生産要求量(m)は、過去12ヶ月の平均需要(af)とし、製品ストックヤードの製品在庫量(f)に応じて増量(ae)または減量(ah)して毎月計算した。

増量(ae)は、製品ストックヤードにおける月初在庫量(f)が平均需要(af)に安全在庫量(y)を加えた、平均需要+安全在庫量(ai)に満たない場合にその不足分を増量(ab)した。そして繰越計画量(i)に平均需要(af)と増量分(ab)を加えた翌月の月初在庫計画量(ac)と、翌月の販売予測量(x)を比較し、不足分を

さらに増量(ad)した。前者の増量(ab)により緩慢な需要増加に対応させ、後者の増量(ad)により急激な需要増加に対応させて、在庫不足を回避するようにした。

次に、増量(ae)を行わず、かつ製品在庫(f)が過剰と判断される際、平均需要(af)に対し減量(ah)をした。減量(ah)にあたっては、過去12ヶ月、当月、翌月の製品の製品ストックヤードでの在庫期間のうち、販売された、または販売が見込まれる各月ごとに1番若い出荷材の在庫期間情報を利用した(al , am)。ただし、当月と翌月に販売が見込まれる製品の在庫期間情報(al)は、増量(ae)せずに平均需要(af)のまま製品を製品ストックヤードに入庫した場合について当月と翌月の販売予測量(g, x)を用いて計算した。そして、以下の2つの条件のいずれかに該当する際に、平均需要の1/12(ag)を減量分(ah)として平均需要(af)から減量し、その結果を製品の生産要求量(m)とした。

第1の条件は、出荷材について、製品ストックヤードでの過去12ヶ月の1番若い出荷材の在庫期間(am)、及び当月、翌月の1番若い材の予想在庫期間(al)が、

全て1ヶ月より大きいこと(aj)である。この条件に該当する時は、製品販売量はゆるやかに減少し、過去12ヶ月から翌月にいたる期間で、過剰在庫を抱えていたことを意味する。したがって在庫量を減量しなければならない。

第2の条件は当月、翌月のいずれかの1番若い出荷材の予想在庫期間(al)が、3ヶ月以上となることである(ak)。この条件に該当する時、製品販売量が急に減少し、翌月、2ヶ月後の製品ストックヤードの老いた材の予想在庫期間が4ヶ月以上となることを意味する(l)。本モデルで4ヶ月間という期間は、原木の集荷から製品の販売までの最短期間と同じ長さである。よって在庫期間が4ヶ月以上となる材は過剰在庫といえるので、減量対象とした。

剥皮後原木の翌月の月初在庫目標値(s)と選別後原木の翌月の月初在庫目標値(v)は、過去12ヶ月の平均需要+安全在庫量(ai)の原木換算値とした。製品の生産要求量(m)を過去12ヶ月の平均需要(af)としてすでに安定化させているため、原木集荷計画量(t)、原木剥皮計画量(q)、製品生産計画量(l)の3つの計画量がともに過去12ヶ月の平均需要またはその原木換算値となる。

なお図-4で★印をつけた製品の生産要求量(m)、剥皮後原木の翌月の月初在庫目標値(s)、そして選別後原木の翌月の月初在庫目標値(v)は以下の通りに求められる。

(1) 製品の生産要求量

当月の製品の生産要求量(m)は以下のように計算する。

```
ai = af + y
ab = if (ai > f) then (ai - f) else (0)
ac = i + ab + af
ad = if (x > ac) then (x - ac) else (0)
ae = ab + ad
aj = if (al > 1) and (am > 1) then (1) else (0)
ak = if (al ≥ 3) then (1) else (0)
ag = af / 12
ah = if (ae = 0) and (aj or ak = 1) then (ag) else (0)
m = af + ae - ah
```

ai : 平均需要+安全在庫量

af : 過去12ヶ月の平均需要

i : 製品の繰越計画量

x : 翌月の販売予測量

al : 当月、翌月の1番若い出荷材の製品ストックヤードでの予想在庫期間情報

am : 過去12ヶ月の1番若い出荷材の製品ストックヤードでの在庫期間情報

(2) 剥皮後原木と選別後原木の翌月の月初在庫目標値

剥皮後原木の翌月の月初在庫目標値(s)と選別後原木の翌月の月初在庫目標値(v)は以下のように計算する。

```
ai = y + af
s = ai / 0.65
v = ai / 0.65    0.65は歩留まり
ai : 平均需要+安全在庫量
y : 製品の安全在庫量
af : 過去12ヶ月の平均需要
```

4. 製品の販売予測量と安全在庫量

(1) 販売予測量

生産計画量の計算に必要な製品の販売予測量(g, q, w, aa)の計算には、GRANGER(9)を参考にして、過去5年分の月別需要を用いて以下のように計算した(図-5)。例えば当月を二月とした場合、まず今年を含めて5年間の一月分の平均値を求める。そして今年の一月の製品の需要から、一月の製品の需要の平均値を引き、差を求めて季節調整値とする。過去5年間の二月分の平均値に対して、0.8をかけた値を加えて当月の販売予測量とした。季節調整値に0.8²をかけた値を、過去5年間の三月分の平均値に対して加えて翌月の販売予測量とした。季節調整値に0.8³をかけた値を、過去5年間の四月分の平均値に対して加えて2ヶ月後の販売予測量とした。季節調整値に0.8⁴をかけた値を、過去5年間の五月分の平均値に対して加えて3ヶ月後の販売予測量とした。またシミュレーション開始6年目までは予測に用いるための過去5年分の資料がない。そのため1年目だけ仮の値を外挿し、2年目以降5年目までは、シミュレーションの進行により蓄積されていく過去のデータを使った。

(2) 安全在庫量

安全在庫量は在庫管理の分野で在庫不足を避けるために用いられてきたもので以下の式による(14)。

安全在庫量 = 安全係数 × 標準偏差 × $\sqrt{\text{リードタイム}}$
標準偏差は過去1年間の需要変動から求め、リードタイムは発注間隔と調達期間を各1ヶ月として、合計2ヶ月とした。また、安全係数は標準正規分布の上側確率(欠品率)に対応する標準正規変量の値であり、サービス率は1から欠品率を引いたものである。例えば安全係数1.65の場合は欠品率5%またはサービス率95%となる。なお本論のシミュレーションでは95%と80%のサービス率を採用する。95%の値は在庫管理の分野で使用頻度の高い一般的なサービス率である(6, 12, 14, 17)。これに対して80%の値を用いるということは、需要が多くストックヤードへの入庫量を平均需要以上とする場合に、増量の回数が多くなって1回あたりの入庫量の増量が少なくなることから、極端に大き

図-5 販売予測の計算過程
Calculation process of sales forecasts.

な変動が生じにくくなり、ストックヤードへの在庫量の安定化機能をもたらす(4)という効果をもつことを意味する。

IV. シミュレーションの実行

1. シミュレーションの設定

シミュレーションに用いた各変数の値は以下の通りである。製品の需要の推移は、1990年5月～2000年5月の新潟県月別木造住宅着工戸数(15)の全体の平均値を1.0として各月の戸数を指数化した。一方、山北町木材コンビナートの1年あたり販売目標は17,750 m³なので、その1/12を平均量(1,479m³)とし、その値に各月の指数をかけて月別変動量として用いた。

全製材工場の合計生産能力(n)は、コンビナートの計画書に設定されている1,896m³/月に設定した。製品ストックヤードの最大在庫可能量(e)はその2倍の3,792m³とした。また、原木ストックヤードの最大在庫可能量(a, c)は、選別後原木、剥皮後原木ともに製品ストックヤードの最大在庫可能量の原木換算値である5,834m³とした。各ストックヤードにおける在庫

量(b, d, f)の初期値は製品、選別後原木、剥皮後原木ともに、最大在庫可能量(a, c, e)と等しくした。

本モデルでは、製品ストックヤードにおける当月の月初在庫量によって当月の需要をまかなうとし、製品の需要に対する不足分の出荷は翌月まで延ばすこととし、翌月にも解消できない場合は需要は消滅するとした。

シミュレーションは、計画AとBについて行った。その際選別後原木、剥皮後原木、そして製品のそれぞれのストックヤードの安全在庫量のサービス率(y)を80%と95%に設定した。

なおシミュレーションの計算単位時間は1ヶ月とし、10年間分の結果を計算して分析した。

2. シミュレーション結果

選別後原木、剥皮後原木、及び製品の安全在庫量(y)の各サービス率を80%と95%に設定する8通りの組み合わせについて、計画Aと計画Bのシミュレーションを行った。なお計画Aのシミュレーションで、生産能力を2,474m³/月まで増強させると製品の在庫不足の10年間の合計は減り、以降生産能力を増強しても在庫

不足の合計に変化は見られなかった。そこで、2つの計画に対し、生産能力を1,896m³/月と2,474m³/月の2通りについてもシミュレーションを行った。これらの組み合わせで合計32通りのシミュレーション結果を得た。計画Aの計算結果については図-6および図-7に、計画Bの計算結果については図-8および図-9に示す。

(1) 計画Aの結果

計画Aについての16通りの計算結果を、製品の在庫不足の合計の少ない順番にまとめ、平均在庫量とともに図-6に示した。まず製品の安全在庫量のサービス率を95%に設定したシミュレーション結果No.1～8とサービス率80%のままのNo.9～16を比べると、No.1～8は製品の在庫不足の合計が4,000m³以下であるのに対し、No.9～16は全て4,000m³以上となった。さらにシミュレーション結果No.1～8のうち製品の生産能力を増強したNo.1～4は、製品の在庫不足の合計が1,000m³以下となった。

一方、製品の安全在庫量のサービス率が80%のまま、生産能力を増強しないシミュレーション結果No.13～15は、選別後原木や剥皮後原木のサービス率を95%としているにもかかわらず製品の在庫不足の合計が

全て10,000m³以上となった。以上のシミュレーション結果より、製品ストックヤードの安全在庫量のサービス率を95%にし、生産能力を増強できるようなことが、製品の在庫不足に対して効果があると示された。ただし生産能力増強は効果的だが、コンビナート内で生産される製品は全て乾燥させる工程を含む計画となっている。このことは、乾燥機の乾燥能力(m³/月)も増強しなければならないことを示す。

なお、シミュレーション結果No.1～4のうち、No.4は、No.1～3に比べ平均在庫量が500m³以上少ない。生産計画Aは、製品ストックヤードの安全在庫量のサービス率を95%にし、生産能力を増強することにより、コンビナートに適した生産計画となる。

製品の在庫不足と平均在庫量がともに少ないシミュレーション結果No.4について、原木集荷量、原木剥皮量、製品生産量の原木換算値、そして製品販売量の原木換算値の推移を図-7に示す。この図によると、川上に位置する原木の推移は振幅が激しく変化し、季節変動パターンは崩れている。特にその傾向は、原木集荷量に現れており、シミュレーション期間中0m³になることもあった。このことは、原木を供給する素材生産業者からすると、コンビナートへの原木出荷量

図-6 計画Aのシミュレーション結果
Simulation results of Plan A.

図-7 計画Aの木材の流れ
Timber flow of Plan A.

表-1 No.4の平均値と標準偏差
Mean values and standard deviations of No. 4.

(m³)	原木換算			
	原木集荷量	原木剥皮量	製品生産量	製品販売量
平均	2,236	2,245	2,255	2,270
標準偏差	904	858	828	582

が月によって激しく変化し、原木の安定供給を行いにくいことを示す。図-7の各移動量について、平均値と標準偏差を表-1に示す。ここで標準偏差は原木集荷量、原木剥皮量、製品生産量、及び製品販売量それぞれの変動の激しさを示す指標として用いる。表-1をみても、原木集荷量、原木剥皮量、製品生産量、及び製品販売量は平均値にそれほど差がないのに、標準偏差は川上側の現場であるほど大きい傾向がみられる。

(2) 計画Bの結果

計画Bについての16通りの計算結果を、製品の在庫不足の合計の少ない順番にまとめ、平均在庫量とともに図-8に示す。製品の安全在庫量のサービス率を95%に設定したシミュレーション結果No.17~24とサービス率80%のままのNo.25~32を比べると、No.17~

24は製品の在庫不足が生じなかったが、No.25~32には10年間の合計で1,000m³以下の在庫不足が生じた。さらに在庫不足が生じなかったNo.17~24のうち、平均在庫量が1番少ないシミュレーション結果No.24について、原木集荷量、原木剥皮量、製品生産量の原木換算値、そして製品販売量の原木換算値の推移を図-9に、平均値と標準偏差を表-2に示す。ここでも標準偏差は原木集荷量、原木剥皮量、製品生産量、及び製品販売量それぞれの変動の激しさを示す指標として用いる。図-9をみると、原木集荷量、原木剥皮量、製品生産量の変動は、生産計画Aでの原木集荷量、原木剥皮量、製品生産量の変動(図-7)に比べ小さくなった。また、表-2より、原木集荷量、原木剥皮量、製品生産量の標準偏差ともに製品販売量の標準偏差よ

図-8 計画Bのシミュレーション結果
Simulation results of Plan B.

図-9 計画Bの木材の流れ
Timber flow of Plan B.

表－2 No. 24の平均値と標準偏差
Mean values and standard deviations of No. 24.

(m ³)	原木換算			
	原木集荷量	原木剥皮量	製品生産量	製品販売量
平均	2,244	2,252	2,261	2,270
標準偏差	498	469	437	588

り小さくなった。以上から、製品生産量を安定化させることにより、原木集荷量と原木剥皮量も安定化させることができたことを確認できた。

3. 計画AとBの考察

計画Aを採用し、製品の在庫不足を少なくするため生産能力を1.3倍に増強すると、計画Bを採用するよりも、平均在庫量が少なくなった。また、計画Bを採用すると、製品の在庫不足がなく、かつ、原木集荷量、原木剥皮量、製品生産量を安定化できた。

なおはじめに述べたように、本モデルでは生産計画の目標として、①原木と製品の平均在庫量を少なくすること、②製品の欠品すなわち在庫不足を少なくすること、③原木集荷量を安定化させることをあげている。そこで2つの生産計画を比較すると、計画Aでは①原木と製品の平均在庫量を少なくする点で、計画Bよりも優れていた。一方、計画Bは、②製品の欠品すなわち在庫不足を少なくすること、③原木集荷量を安定化させることの2点で、計画Aよりも優れていた。

このことから、本論が目指す3つの目標を達成させるためには、計画Bを修正することによって平均在庫量を減らすことを検討するのが近道であると思われる。

V. 平均在庫量を減少させるための計画Bの修正

1. 平均在庫量を減少させる修正

計画Bは、原木集荷量を安定化させることを目標とする生産計画であり、そのために、製品ストックヤードへの入庫量、すなわち製品の生産要求量(m)を平均需要(af)とし、製品在庫量(f)に応じて増量(ae)または減量(ah)させていた。

計画Bを修正するにあたり、以下の2段階を考えた。

第1段階は、製品の生産要求量(m)を減らし、その結果として在庫量を減少させることである。具体的には、平均需要(af)としていた製品の生産要求量(m)を、平均需要(af)よりも少ない量、すなわち平均需要(af)に1以下の係数をかけた量とすることである。

第2段階は、平均需要 $\times 1/12$ としていた減量する

量(ag)を、より多くすることである。具体的には、平均需要(af)にかけていた係数 $1/12$ (8%)よりも大きい係数を平均需要(af)にかけて減量する量(ag)とすることである。

この2段階は、以下の式の α と β を決めることにはかならず、感度分析により、 α を求めたのち β を求める。

その計算式は次の通りである。

$$ag = af \left(1 - \frac{\alpha}{100}\right) \times \beta$$

表－3 No. 4, 24, 33～52のシミュレーション結果
Simulation results of No. 4, 24, 33～52.

(m ³)	原木集荷量		平均 在庫不足		α	β
	No.	平均 標準偏差	在庫量 合計			
4	2,236	904	8,032	793	—	—
24	2,244	498	8,801	0	0	1/12
33	2,251	487	8,745	90	1	↓
34	2,242	493	8,605	145	2	
35	2,246	486	8,489	178	3	
36	2,244	489	8,353	333	4	
37	2,239	496	8,207	708	5	
38	2,237	498	8,090	1,442	6	
39	2,238	496	8,191	708	5	
40		512	8,146	708		
41		514	8,145	708		
42		540	8,104	944		
43		539	8,122	1,995		0.5
44		515	8,142	708		0.31
45		516	8,138	↓		0.32
46		518	8,134			0.33
47		519	8,129			0.34
48		521	8,124			0.35
49		523	8,120	728		0.36
50		535	8,114	782		0.37
51		537	8,110	836		0.38
52	↓	538	8,107	890	↓	0.39

$$m = af \left(1 - \frac{\alpha}{100}\right) - ag$$

ag : 減量する量

af : 過去12ヶ月の平均需要

α : 製品の生産要求量(m)を少ない量にするため平均需要(af)から減じる係数 (%)

β : 減量する量を多い量にするための

平均需要(af) $\times$ $\left(1 - \frac{\alpha}{100}\right)$ にかける係数

m : 製品の生産要求量

2. 係数 α の検討

計画Bでは製品の生産要求量(m)は過去12ヶ月の平均需要(af)の値をそのまま用いていたが、平均在庫量を減らすためにはこれをできるだけ小さくしたい。そこで、製品の生産要求量(m)をどこまで減らせるかを検討した。製品の生産要求量(m)を α %だけ減らすには、平均需要(af) $\times$ $\left(1 - \frac{\alpha}{100}\right)$ とすればよい。

係数 α を大きくしていくと、製品の生産要求量(m)は当然少なくなり、製品ストックヤードの在庫量(f)が減り、在庫不足の合計は多くなると予想される。そこで、在庫不足の合計を10年間で1,000m³以内に抑えることを目標として以下の感度分析を行った。具体的には、係数 α を1%から1%ずつ増やして行き、10年間の在庫不足の合計が1,000m³を超えた時点で計算を止め、その1回前の α を採用するとした。なお計画Bの選別後原木、剥皮後原木の翌月の在庫目標値(s, v)は、平均需要+安全在庫量(ai)の原木換算値とし、ストックヤードへの入庫量の安定化機能をもたらしするために安全在庫量(y)のサービス率を80%(4)としていた。このサービス率80%の設定は、製品の生産要求量(m)を平均需要(af)としていた場合のものであった。生産要求量(m)を平均需要(af)から α %減らす場合にも入庫量の安定化機能をねらうとすると、減らした生産要求量(m)に対応させて翌月の在庫目標値(s, v)を少なくさせる必要があると考えた。そこで、選別後原木、剥皮後原木の翌月の在庫目標値(s, v)にも係数

$\left(1 - \frac{\alpha}{100}\right)$ をかけて値を小さくした。

この計算結果を表-3のNo.33~38に示す。 $\alpha = 5$ %から $\alpha = 6$ %の間で在庫不足の合計が708m³から1,442m³となったので、 α を5%として修正計画に採用するとした。 $\alpha = 5$ %の結果(No.37)を計画B(No.24)の結果と比較すると、原木集荷量の変動については、平均も標準偏差もあまり変らなかった。平均在庫量については、 $\alpha = 5$ %(No.37)のほうが計画B(No.24)よりも590m³/月以上も少なくなった。在

庫不足については、計画B(No.24)では生じなかったが、 $\alpha = 5$ %(No.37)では製品の生産要求量(m)を減らしたため708m³生じた。しかしこの10年間の在庫不足は、年間販売目標17,750m³に対して4%程度でしかないので、無視できる。以上より $\alpha = 5$ %(No.37)の修正計画によって、製品の生産要求量(m)を少ない量にすることは、平均在庫量を減少させる著しい効果があると示された。

3. 係数 β の検討

第1段階で $\alpha = 5$ としたので、製品の生産要求量(m)は平均需要(af) $\times$ 0.95となる。係数0.95は $\alpha = 5$ %に対応している。 α を決めたので、減量する量(ag)は平均需要(af) $\times$ 0.95 $\times$ β となる。この係数 β を0.1から0.1ずつ増やす感度分析を行って、10年間の在庫不足の合計が1,000m³を超えた時点でシミュレーションを止めた。その結果を、表-3のNo.39からNo.43に示す。 $\beta = 0.4$ から $\beta = 0.5$ の間で在庫不足の合計が1,000m³を超えた。ここで表-3の経過をみると在庫不足の合計が1,000m³以下のNo.39からNo.42のうち、在庫不足の合計が最少値の結果はNo.39, No.40, No.41の708m³であり、No.42はこれより大きくなった。この3つのうち平均在庫量の最少となるのはNo.41で、最少値は0.3~0.4の間にあると思われるので、さらに平均在庫量を少なくするため、 $\beta = 0.31$ から $\beta = 0.39$ の間で β を0.01ずつ増やす感度分析を再び行った。その結果は表-3のNo.44からNo.52に示した通りである。これらの結果のうちNo.44からNo.48の在庫不足合計はいずれも708m³であるが、そのうちNo.48は平均在庫量が最少となっている。以上の結果からNo.48の設定、すなわち、生産要求量(m)は平均需要の95%、減量する量(ag)は平均需要(af)の0.95 $\times$ 0.35 $\div \frac{1}{3}$ とすることが、生産計画Bの修正として適正であることが示された。この計画を計画Cとする。

4. 計画Cの考察

前項の検討の結果得られた係数 α と β を採用した計画Cの結果を、計画A(No.4)の結果と計画Bの結果(No.24)と比較する。計画Cの平均在庫量、在庫不足、そして原木集荷量の標準偏差の値は、いずれも計画AとBの間となっており、計画Cは計画Aと計画Bの中間的内容となっている。

平均在庫量を比べると、平均在庫量が最少となっているのは計画A(No.4)の8,032m³である。これに対して計画Cの平均在庫量は92m³多い。山北町木材コンビナートの計画書によると住宅1棟あたりの必要材積は25m³となっていることからこの値は木造住宅

4 棟分弱に相当するが、ここでのモデルにおける月平均出荷材積 (1,479m³) に対しては 6 % 程度の大きさでしかない。

在庫不足合計を比べると、計画 B (No. 24) では不足が生じなかったが、計画 C では 708m³ 生じた。不足が生じる頻度は、10 年間で合計 6 ヶ月であった。

原木集荷量の安定化を比べると原木集荷量の変動を表す標準偏差は計画 B よりも計画 C で 20m³ 程度大きくなっている。図-10 は、計画 C の原木集荷量を示したものであるが、極端に大きな値や小さい値を示すような挙動は見られなかった。

以上の 3 点からみて、計画 C は、10 年間のうち 6 カ月だけ生じた在庫不足以外に大きな問題はなく、在庫不足面では計画 A の結果と同程度であり、原木集荷量の安定化については計画 A よりもよい結果を導くことができた。計画 B と計画 C を比べると、計画 C の方が原木集荷量の変動は大きく、在庫不足も多いが、それらの欠点は無視できる大きさである。むしろ計画 C は計画 B よりも平均在庫量が 590m³/月以上も少ない利点を持ち、計画 B よりも優れているといえる。

VI. おわりに

木材コンビナートにおける生産計画の目標として、①原木と製品の平均在庫量を少なくすること、②製品の在庫不足を少なくすること、③原木集荷量を安定化させること、の 3 点をあげて、シミュレーションによって検討した。

平均在庫量については、計画 A (図-3, No. 4) が 8,032m³ と最少値をとり、在庫不足合計も 10 年間で 793m³ と比較的少なかったが、設計書に示されたよりも生産能力を約 1.3 倍に上げる必要があり、予定されている能力では間に合わない。

製品の在庫不足については、計画 B (図-5, No. 24) が全期間で在庫不足を生じず、原木集荷量の標準偏差も 498m³ と小さかったが、平均在庫量の合計が 8,801m³ となり、他の計画に比べて大きな値を示した。

原木集荷量については、当然ながら原木集荷量を安定化させることを目標とした計画 B が、計画 A, B, C の標準偏差の中で唯一 500m³ 以下と最も安定していた。

これらの結果から、計画 A と B は 3 つの目標をバランス良く達成しているとはいえない難しい面がみられる。そ

図-10 No. 48 の木材の流れ
Timber flow of No. 48.

れに対して、計画Cは3つの目標をバランス良く達成しているといえる。

本論では、計画A, B, Cの、3つの生産計画を提示した。これら3つの計画は、その平均在庫量によって順序づけるができる(計画A<C<B)。一方、本論のシミュレーションでは全計算期間を通して、常に同じ生産計画を採用し続けていた。しかし、需要動向と在庫状況に応じて生産計画を変更できれば、さらに平均在庫量と在庫不足を少なくすることができると予想される。具体的には、販売量が減少すると予想される月の計画量については、計画Aの方針を採用し、他の月の計画量については計画B、あるいはそれを修正した計画Cの方針を採用することができれば、さらにバランスのとれた計画が得られるであろう。これについては今後の検討課題とする。

引用文献

- (1) 青柳修平・長澤一太郎・竹内公男(2001) 製品ストックヤードにおける製材品在庫管理の検討. 日林関東支論 52: 63~66.
- (2) 青柳修平・竹内公男(1997) 新潟県山北町の木材生産活動のシステム分析. 日林論 108: 171~174.
- (3) 青柳修平・竹内公男(1998) 新潟県山北町の木材生産活動におけるストックヤードの役割. 日林関東支論 49: 127~130.
- (4) 青柳修平・竹内公男(2000) 国産材市場における製材品の安定供給に対する製品ストックヤードの機能. 日林関東支論 51: 57~60.
- (5) AOYAGI, S., TOMIYAMA, R. and TAKEUCHI, K. (1998) System dynamics based analysis of timber production in Sanpoku Town, Niigata Prefecture. In Foresea Miyazaki 1998: Forest Sector Analysis: Proceedings of International Symposium on global concerns for forest resource utilization-Sustainable Use and Management-. Yoshimoto, A., and Yukutake, K. (eds.), Japan Society of Forest Planning Press, 883~891p.
- (6) Brown, R. G. (関根智明訳)(1970) 在庫管理のための需要予測, 234pp, 紀伊國屋書店, 東京.
- (7) 地域住宅産業研究会(1997) 木造住宅産業—その未来戦略. 246pp, 彰国社, 東京.
- (8) GOLDMAN, S. L., NAGEL, R. N. and PREISS, K. (紺野登・野中郁次郎訳)(1999) アジル・コンペティション. 474pp, 日本経済新聞社, 東京.
- (9) GRANGER, C. W. J. (宜名真勇・馬場善久訳)(1994) 経営・経済予測入門. 314pp, 有斐閣, 東京.
- (10) 藤野直明(2000) サプライチェーン経営入門(日経文庫792). 162pp, 日本経済新聞社, 東京.
- (11) 加藤滋雄(1994) 林業・木材産業の情報ネットワークシステム. 182pp, 日本林業調査会, 東京.
- (12) 水野幸男(1970) 在庫管理の知識(日経文庫140). 181pp, 日本経済新聞社, 東京.
- (13) 木材産業を考える会(1997) データ&ビジョン 住宅市場と木材産業これから売れる木もう売れない木. 322pp, 日本林業調査会, 東京.
- (14) 中田 勇(1973) 在庫管理の実務(日経文庫207). 210pp, 日本経済新聞社, 東京.
- (15) 新潟県建築住宅課(1990~2000) 新潟県建築統計月報. 5p, 新潟.
- (16) 新潟県山北町(1999) 新潟県下越流域流域林産加工体制整備促進対策事業報告書「山北町林産加工一貫体制整備計画書」. 73pp, 新潟.
- (17) 小川英次(1989) 生産管理, 226pp, 中央経済社, 東京.
- (18) PERSSON, U. (1997) A conceptual and Empirical Examination of the Management Concept Supply Chain Management. 133 pp, Department of Business Administration and Social Sciences, Division of Industrial Logistics, Lulea university of technology, Lulea, Sweden.
- (19) S C M研究会(1999) 図解サプライチェーン・マネジメント. 228pp, 日本実業出版社, 東京.
- (20) タスクIT新書編集部(2000) S C Mサプライチェーンマネジメント(タスクIT新書No. 007). 136pp, タスク・システムプロモーション, 東京.
- (21) 牛丸幸也・西村勝美・遠藤日雄(1996) 転換期のスギ材問題—住宅マーケットの変化に国産材はどう対応すべきか—. 367pp, 日本林業調査会, 東京.

(2001年7月27日受付)

(2001年12月10日受理)