

## 論文 (Original article)

# 国際パネルデータを用いた林産物需要関数の推定

閔庚鐸<sup>1)</sup>・岡裕泰<sup>2)\*</sup>

## Estimation of Demand Functions for Forest Products using International Panel Data

Kyung-taek MIN<sup>1)</sup> and Hiroyasu OKA<sup>2)\*</sup>

### Abstract

The objective of this study is to analyze price and GDP elasticity in international demand for forest products. Static and dynamic models of the derived demand for forest products were estimated for each 5 major forest products covering sawnwood, plywood, particle board, fiberboard, and total paper and paperboards. The models were estimated with panel data sets for 1980-2007 from FAOSTAT and IMF database. Price elasticities were estimated to be -0.2 ~ -0.4, and GDP elasticities were estimated to be around 1. Demand for forest products is inelastic in price and elastic in GDP. GDP elasticity of high income countries is higher than low income countries in plywood and printing papers, and lower in boards and other paper and paperboard. The estimated coefficient of time trend is negative in sawnwood, plywood, and particle board, positive in fiberboard, and insignificant in paper products. The tests of model performance with mean absolute relative error reveal that static model fitted better than others.

**Key words :** Demand function, Econometrics, Forest products, GDP elasticity, International panel data, Price elasticity

### 要旨

本稿は、1980～2007年の国際パネルデータを用いて林産物群に対して世界諸国群の需要関数を推定し、林産物需要の価格弾性値やGDP弾性値を推計したものである。分析の際、静学モデルと動学モデル、GDPダミーモデルを試み、それぞれの結果を比較した。林産物需要の価格弾性値は、概ね-0.2～-0.4と推定され、非弾力的である。GDP弾性値は、ほぼ1に近く、弾力的であることが示され、林産物需要は経済活動水準とほぼ一緒に動いていることが明らかになった。所得グループごとのGDP弾性値をみると、合板や印刷用紙では高所得国の方が高く、ボード類やその他用紙では低所得国の方が高いことが示された。製材品や新聞用紙では弾性値に顕著な差が見られなかった。また、時間に対する林産物需要の変化をみると、製材や合板、削片板の場合は負であり、繊維板は正であることが示された。一方、紙・板紙製品については時間に対する需要変化は統計的に有意ではないことから、GDPおよび価格が同じならば、紙製品の需要が年とともに変化する傾向は認められなかった。モデルの予測力については、静学モデルが動学モデルより優れていることが示された。

キーワード：需要関数、国際パネルデータ、林産物、計量経済、価格弾性値、GDP弾性値

### はじめに

林業・林産業においてもグローバル化が進んでおり、適切な政策展開を図るためには、世界の木材産業や森林政策の動向を的確に把握し、それに関する広範な条件を想定した予測に基づいて意思決定を行う必要がある。とりわけ、持続可能な森林経営の実現が国際的潮流となっている今日、世界各地域における林産物への

需要の見通しや森林政策の影響を定量的に分析することは、森林政策や森林計画の策定に極めて重要な要素である。

こういった見方に基づき、世界の林産物市場の動きを理解するため、様々なモデルが開発されている。林産物需給の将来予測や政策シミュレーションに関わる世界モデルの先駆けとなったのは、1980年代に

原稿受付：平成22年1月21日 Received 21 January 2010 原稿受理：平成23年11月7日 Accepted 7 November 2011

1) 韓国農村経済研究院 Korea Rural Economic Institute

2) 森林総合研究所林業経営・政策研究領域 Department of Forest Policy and Economics, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

\* 森林総合研究所林業経営・政策研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里1 Department of Forest Policy and Economics, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan.

国際応用システム研究所 (International Institute for Applied Systems Analysis: 略称 IIASA) で構築された世界貿易モデル (Global Trade Model: 略称 GTM) であろう (Kallio *et al.*, 1987)。その後、この GTM を発展させた米国ワシントン大学の CINTRAFOR-GTM (CINTRAFOR は国際林産物貿易研究センター Center for International Trade in Forest Products の略称) や、ヨーロッパ森林研究所 (European Forest Institute: 略称 EFI) の EFI-GTM のほかに、1990 年代に米国ウィスコンシン大学で開発され、国連食糧農業機関 (Food and Agriculture Organization: 略称 FAO) による世界林産物市場の長期見通しや、アメリカ政府による林産物部門の貿易自由化促進影響評価報告書などで使われている世界林産物モデル (Global Forest Products Model: 略称 GFPM) などがある (Zhang *et al.*, 1997)。これらはいずれも木材需給や貿易に関する関係式に基づいて構築されており、1 年ごとの経済変数の変化を与えながら、年ごとに生産者余剰と消費者余剰の和の最大化を図る数理計画モデルである。一方、森林総合研究所 (2006) を中心とする研究グループは、世界の森林資源と、林産物の消費・生産・貿易などに関するデータを用いて、林産物需給構造および丸太生産と森林資源との双方向の影響関係について分析し、需給均衡条件を達成することにより解を求める世界林産物需給モデル (World Forest Products Model: 略称 WFPM) を構築した。

以上のモデルは、いずれも最終財の需給関数とそれに関わる産業用丸太需給との技術関係を表す関係式により構成されているもので、モデルの運用において重要な役割を果たすパラメータが最終財の価格と国内総生産 (Gross Domestic Products: GDP) に対する需要の弾性値である。本稿は、世界の林産物の需要関数を推定し、世界的な林産物市場モデルの適合性向上に資することを目的とする。

弾性値の推定に際して、各国における需要関数を独立に推定する方が望ましいが、一部の国における統計調査の不十分さと政治的な変化などにより、個々の国における需要関数を別々に推定することは事実上不可能な場合がある。そこで本稿では、国際パネルデータを利用して世界各国をグループにまとめて、各グループ共通の値として林産物に対する需要における価格や GDP 弾性値を推定することとする。パネルデータとは、複数の対象を時系列的に観察し記録したデータのことを指し、ここでは各国の時系列データの集合である。

パネルデータを用いて林産物への世界需要を分析した研究はいくつか行われている。Chas-Amil and Buongiorno (2000) は欧州における紙類の需要関数を推定し、製品ごとに価格や GDP 弾性値を計測した。Simangunsong and Buongiorno (2001) は 1973-1997 年にわたる 62 ケ国のパネルデータを用いて最終林産

物製品の需要関数を推定した。また複数の分析方法を比較して、静学モデルの方が動学モデルよりも予測の相対誤差率が小さかったと論じた。Tachibana, Oka and Tamura (2004) は 21 カ国を GDP により 3 つのグループに分け、グループごとに木材や林産物への需要関数を推定し、価格弾性値や GDP 弾性値を計測した。Turner and Buongiorno (2004) は 1970-1987 年にわたる 64 カ国のパネルデータを用いて林産物の輸入に対する価格や所得弾性値を推定し、価格について非弾力的、所得について弾力的であることを示した。

## 分析の枠組み

### 1. モデルの設定

林産物は主に建築物など他の完成品の中間財として利用されており、林産物への需要は他の完成品の生産過程から派生するものである。生産者理論は企業の行動を分析するものであるが、一国における林産物総需要の分析へ拡張することもできるだろう。本稿ではこのような考えに基づいて、集計されたデータを用いて分析を行う。つまり、一国における林産物の消費は、その国の総合的な生産活動水準、林産物の価格、その他財の価格により規定される。ここではとくに、生産活動水準  $y$  には国内総生産 (GDP) を、その他財の価格には GDP デフレータを代理変数として利用した。

### 2. パネルデータの分析

林産物に対する需要パターンは国ごとに異なる。所得水準が同様であっても、国ごとに木を使う文化や生活習慣、国民の教育レベルなどが異なり、これにより木材消費量が異なる場合がある。こうした各国に固有の固有効果を取り入れた需要関数をパネルデータの形で表現すると、式 (1) のようになる。

$$\ln q_{it} = \beta_0 + \beta_p \ln p_{it} + \beta_y \ln y_{it} + \varepsilon_{it}$$

$$\varepsilon_{it} = \mu_i + v_{it} \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, t$$

ここで、 $q$  は林産物の消費量、 $p$  は林産物の価格、 $y$  は国内総生産 (GDP) を指す。 $\beta_y$  は需要の弾性値で、通常は正の値をとり、 $\beta_p$  は実質価格に対する需要の弾性値で、通常は負の値をとると考えられる。下付き添え字  $i$  と  $t$  は、それぞれ個別主体 (国) と時点 (年) を表す。 $\beta_0$  は定数項である。また、誤差項のうち、 $\mu_i$  は個体における観察不可能な固有効果を、 $v_{it}$  は個体内の時間変動効果を表す。

パネルデータを用いた回帰分析の際、問題となるのは、各個体の固有効果をどう捉えるかである。まず、利用可能なデータを無差別にプーリングした上で最小二乗推定法 (ordinary least squares: OLS 推定、ここではとくに pooling OLS) を行う方法がある。これはすべての経済主体が同じ定数項、同じ傾きをもつと仮定しているモデルであり、個体の異質性、ダイナミズ

ムは存在しないことを意味する。次に、経済主体の異質性を考慮して、モデルの傾きは同一だが、定数項がそれぞれの主体で異なっているという固定効果モデル (fixed-effect model) がある。また、定数項が個別に固定的なものというよりランダムに決まっているという変量効果モデル (random-effect model) がある。それぞれのアプローチの適合性は統計的検定によって判断される。F 検定は、固定効果モデルよりもプーリング回帰モデルが適合的であるという仮説を検定するもので、仮説が棄却されれば固定効果モデルを選ぶ。また、Breusch and Pagan 検定は、変量効果モデルよりもプーリング回帰モデルが適合的であるという仮説を検定するもので、仮説が棄却されれば変量効果モデルを選ぶことになる。Hausman 検定は、固定効果モデルよりも変量効果モデルが適合的であるという仮説を検定するもので、仮説が棄却されれば固定効果モデルを選ぶ。固定効果モデルの採用は、個々の国における需要の差は価格や GDP 以外の変数によらず、国の固有特性によることを意味する。また、ランダム効果モデルの採用は、用いられた変数以外の変数にも影響を大きく受けることを意味する。

### 3. その他要因の反映

木材需要の変化には様々な要素が作用しており、時間的傾向を持って変化する場合がある。例えば、GDP や価格水準が同様としても、木材利用技術の変化によって木材消費量が変化する可能性がある。また、電子媒体の普及は紙製品の消費量に影響を与える。このような効果が GDP や価格と相関しているとしたら、推定結果にはバイアスが起り得る。しかし、この効果を直接代表する要素の定量的データは入手し難いので、式 (2) のように時間トレンドを代理変数として取り入れ、この効果を捉える試みがしばしば採用される。

$$\ln q_{it} = \beta_0 + \beta_p \ln p_{it} + \beta_y \ln y_{it} + \beta_T t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$i = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, T$$

ここで、 $\beta_T$  は、価格と GDP を固定したときの時間変化に伴う需要の変化率を表すものであり、主に技術変化として捉える。例えば、住宅建築において木質材料のシェアが減ったり、事務自動化の導入により紙製品の消費が減ったりする場合に、このパラメータは負の値をとることになる。

### 4. 所得水準による弾性値の変化

林産物に対する需要において、GDP 弾性値は必ずしも固定されているものではなく、所得水準により変わる可能性がある。たとえば所与の所得成長率の下で、低所得国における木材消費の成長率が高所得国におけるそれより高い可能性がある。また、その逆のケースもあるだろう。この仮説を検定するために、ダミー変数の導入が考えられる。つまり、低所得国グループを

指すダミー変数を取り入れ、式 (3) を推定する (Baudin and Lundberg, 1987)。

$$\ln q_{it} = \beta_0 + \beta_p \ln p_{it} + (\beta_y + \beta_D D) \ln y_{it} + \beta_T t + \varepsilon_{it}$$

$$i = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, T \quad (3)$$

$D = 0$  for 高所得国、 $D = 1$  for 低所得国

式 (3) において、高所得国グループの GDP 弾性値は  $\beta_y$  であり、低所得国グループの GDP 弾性値は  $(\beta_y + \beta_D)$  となる。ここで、 $\beta_D$  の符号の統計的な有意性を検定し、グループ間で弾性値に有意な差があるか否かを検定する。 $\beta_D$  の符号が有意に正であれば、低所得国グループの方が高所得グループよりも GDP 弾性値が統計的に有意に大きいことになる。

### 5. 動学的パネルモデルの分析

経済現象は個々経済主体が動学的最適化に基づいて最適化行動を行った結果であると思われる。パネルデータを利用する分析のメリットの一つに、同一経済主体の異時点間の変動をデータとして捉え、実証的に検定できるということがある。一般に動学的な関係とは、被説明変数の過去の値が説明変数に入っていることを意味し、式 (4) のような構造をとっている (北村行伸, 2005)。

$$\ln q_{it} = \beta'_0 + \beta'_p \ln p_{it} + \beta'_y \ln y_{it} + \beta'_T T + \delta \ln q_{it-1} + \varepsilon'_{it} \quad (4)$$

$$i = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, T$$

ここで、 $\delta$  は調整計数 (adjustment coefficient) であり、0 と 1 の間の値をとる。調整計数は、望ましい長期水準と実際需要変化の間の調整過程の長さを表しており、この係数が 1 に近いほど、調整過程が遅いことを意味する。これは、需要変化に慣性あるいは硬直性が存在し、需要調整に時間がかかることを意味する。もしも調整計数が 0 であれば、説明変数の変化に対して林産物需要が 1 年以内に完全に調整されることになり、静学モデルと一致する。林産物需要において慣性効果が存在するとしたら、それには消費者の習慣、技術的な制約、取引上の制約などいくつかの理由が考えられる。

式 (4) で推定された各係数は短期弾性値を表す。長期弾性値は  $\beta^* = \beta' / (1 - \delta)$  により算出される。短期弾性値は変数の変化に対する当該年内における反応であり、長期弾性値は調整過程を通じての累計的な反応の大きさである。

動学的パネルモデルの推定をめぐる大きな問題はラグ付き被説明変数が誤差項と相関していることである (北村, 2005)。さらに、このモデルには被説明変数のラグが含まれているため、内生性の問題があり、一般の固定効果モデルやランダム効果モデルから得られた推定値にはバイアスが生じる。この問題に対する解決方法として Arellano and Bond (1991) の一階差分一般化積率法 (first-difference generalized method of moments: 略称 FD-GMM) または Blundell and Bond

(1998) のシステム GMM が幅広く用いられている。

本稿では、攪乱項と説明変数の相関による内生バイアスの可能性を修正するため、システム GMM 推計を試みる。システム GMM は一階の階差をとって固定効果によるバイアスを修正し、さらに内生変数のラグを有効な操作変数として用いることにより内生性バイアスを取り除くものである。この時、操作変数が攪乱項との直交条件を満たしているかどうかは、過剰識別制約に関する Sargan 検定を利用する。Sargan 検定の帰無仮説は操作変数と攪乱項に相関関係が存在しないことなので、もし帰無仮説が棄却されなければ、操作変数の選択は正しいことになる。また、攪乱項が自己相関しているかどうかを Arellano-Bond 統計量により検定する。GMM モデルが妥当であるためには、Sargan 検定が統計的に有意であり、かつ誤差項の 2 階系列相関検定が棄却されないことが要求される。

### データ

本稿で分析の対象とする林産物は、WFPM で最終財となる木製品と紙製品である。産業用材で生産される木製品は、製材品 (sawnwood +)、合板 (plywood)、削片板 (particle board)、繊維板 (Fiber board +) の 4 種類であり、紙製品は、新聞用紙 (newsprint)、印刷用紙 (printing + writing paper)、その他用紙 (other paper + paperboard) の 3 種類と、それを合わせた、紙・板紙 (Paper and Paperboard +) で、計 8 種類である。

分析に用いたデータの出所は FAO と国際通貨基金 (International Monetary Fund: 略称 IMF) のデータベースである。林産物の生産や貿易に関するデータは FAO 統計データベース FAOSTAT から、GDP や GDP デフレーターなど経済変数は IMF のデータベースからとる。分析期間は 1980 年から 2007 年までである。分析対象となるサンプルは FAOSTAT の林産物生産量、貿易量と IMF の GDP などの経済変数について、少なくとも分析期間の一部について両方でデータが揃っている国に限っている。政治的な変化による国の分裂や新生国の誕生などにより、分析に用いたデータセットは不完備パネルデータ (unbalanced panel data) の形態をとっている。

各製品の消費量は、見かけの消費量 (apparent consumption) であり、各国の林産物生産量に輸入量を加えて輸出量を引いたものである。在庫に関するデータがないため、実際の消費量と合わないケースがあるもの、おおむね一致すると考えられる。また、各国における林産物の国内価格データは入手し難いことから、輸出入データを利用して価格を算出した。公表された米ドル基準の輸出入額を輸出入量で算術平均したものに為替レートを乗じて、当該国の通貨単位に変換する。それを当該国の GDP デフレーター (2000 年 = 100) で除して実質化した後に 2000 年の為替レートで

除して米ドル単位に変換した。各国における GDP は、各国通貨で表記された GDP を GDP デフレーター (2000 年 = 100) で除して実質化した後に 2000 年為替レートで除して米ドル単位に変換した。

FAO の統計データは各国政府の報告に依存しているが、国によっては統計調査の不備性などの問題が指摘されているだけでなく、FAO に対して統計値の報告ができないことがしばしばあり、そうした場合に FAO では前年の値を暫定推定値として掲載していることが多い。こうした国の統計では生産量や消費量が価格や所得の変化に反応しないことになりやすいが、これは実態を正しく反映していない。この問題を避けるために、4 回以上連続で同一なデータが続く場合は統計報告の信頼度が低いと見なし、その国はその製品について弾性値の分析対象から除外した。また、外れ値や異常値を除去するための基本的なデータ・クリーニングを行った。外れ値 (outliers) や影響観測値 (influential observations) を除去するため、プーリング OLS を行った上で、誤差項についてスチューデント化残差 (Studentized residual)、てこ比 (leverage)、Cook's Distance などの回帰診断を行い、判定基準を超えるデータを持つ国はその製品について弾性値の分析対象から除外した (Bruin, 2006)。

Table 1 は分析に用いたデータの記述統計である。製品ごとに対象となる国の数や標本サイズが異なる。最後の 2 行は、国間変動 (同一年の全対象国平均値に対する各国の値の標準偏差) と国内変動 (同一国の全対象期間平均値に対する各年の値の標準偏差) を示しており、パネルデータ分析では両方の変動をともに利用する。

## 推定結果及び考察

### 1. 推定結果

林産物について製品ごとに同様の構造のモデルを採用して、それぞれのモデルを推定した。以下、それぞれの推定結果を示しながら、考察を行う。

まず、式 (2) の静学需要関数を推定し、その推定結果を Table 2 に示した。経済の発展水準により林産物需要の所得弾性値や価格弾性値が異なる可能性があると考え、高所得国とその他国に分けてそれぞれについて推定を行った。2009 年現在の経済開発協力機構 (Organisation for Economic Co-operation and Development: 略称 OECD) 加盟国 30 カ国とイスラエル、クウェイト、南アフリカを加えた 33 カ国を高所得国とした。パネルデータの推定の際、プーリング OLS モデル、固定効果モデル、ランダム効果モデルをそれぞれ推定した後、F 検定や Hausman 検定を行い、その結果により推定方法を選択した。F 検定では、すべてのモデルにおいて個別効果が存在しないという帰無仮説が棄却されたため、Hausman 検定結果のみ報告

Table 1. 用いられたデータの記述統計  
Descriptive statistics for consumption and price of forest products

製 品		平均	最小値	最大値	標準偏差		
					全体	国間	国内
製材品 (n=121, N=2112)	消費量 (千 CUM)	4020.9	2.0	136144.3	12953.8	10365.4	2298.1
	実質価格 (US\$/CUM)	260.9	49.4	994.4	123.4	91.0	93.4
合板 (n=94, N=1569)	消費量 (千 CUM)	662.9	0.4	22051.2	2591.3	2118.4	269.6
	実質価格 (US\$/CUM)	475.7	91.5	1479.6	209.9	145.9	155.5
削片板 (n=70, N=1203)	消費量 (千 CUM)	1228.9	1.3	32111.5	3058.7	2369.6	1243.6
	実質価格 (US\$/CUM)	214.9	54.4	772.6	88.4	71.3	61.4
繊維板 (n=67, N=1116)	消費量 (千 CUM)	475.5	2.0	10408.1	1164.2	918.2	353.0
	実質価格 (US\$/CUM)	279.9	53.3	1489.9	116.2	74.5	91.1
新聞用紙 (n=66, N=1052)	消費量 (千 MT)	765.6	2.4	13134.6	1942.5	1501.2	281.3
	実質価格 (US\$/MT)	527.6	203.3	1430.9	167.3	102.3	131.4
印刷用紙 (n=74, N=1374)	消費量 (千 MT)	1292.0	2.7	28173.3	3580.3	2908.2	819.8
	実質価格 (US\$/MT)	915.1	303.4	4524.0	349.8	184.9	300.9
その他用紙 (n=91, N=1686)	消費量 (千 MT)	2043.5	3.1	55684.0	6285.0	5144.7	1067.7
	実質価格 (US\$/MT)	802.9	231.6	2357.8	307.9	191.3	240.4
紙・板紙 (n=97, N=1802)	消費量 (千 MT)	3368.2	6.3	95764.0	10720.8	8784.3	1748.9
	実質価格 (US\$/MT)	772.2	259.8	2468.4	266.0	168.6	208.4

注：n は分析対象の国の数、N は全体標本サイズである。

する。

各係数の符号は概ね経済理論に従っており、統計的にも有意である。両対数線型の関数型における各係数は弾性値を表し、説明変数の 1% 増加に対する需要の変化率を意味する。林産物需要の GDP 弾性値は 1 に近いものが多く、概ね弾力的であることが示され、林産物需要は経済活動水準とほぼ平行して動いていると解釈できる結果である。所得グループごとの GDP 弾性値をみると、合板や印刷用紙では高所得国の方が高く、削片板、繊維板、その他用紙では低所得国の方が高い。とくに合板については、高所得国グループの中で、所得水準による消費量の差が大きく、削片板については低所得国グループの中での所得水準による消費量の差が大きいと見られる。製材品や新聞用紙ではどちらのグループも類似の弾性値を示している。

次に、価格弾性値は、製品ごとに差があるものの、-0.2 ~ -0.4 の大きさと推定され、林産物需要は価格に対して非弾力的であることが示された。所得グループごとの価格弾性値をみると、削片板や繊維板で若干の差が見られるものの、概ね似通っていることが示されている。

また、時間変数の係数をみてみると、製材や合板、新聞用紙については負であり、繊維板や紙製品類につ

いては正であることが示された。伝統的に林産物消費の大部分を占めている製材や合板は、他の材料に代替される場合が多く、木材消費を節約する方向で技術が発展してきたことが伺える。その代わりに、繊維板は合板を代替しながら消費が増してきたと考えられる。紙製品について、新聞用紙は消費が減少する方向で需要パターンが変わったものの、紙・板紙全体では価格と所得が変わらなければ、時間による消費の変化は顕著ではない。

次に、経済発展の水準により GDP 弾性値の差があるか否かを検証するために、低所得国ダミーを入れた式 (3) のモデルを推定した。推定されたダミーの係数の符号と統計的検定により、所得グループ間の GDP 弾性値の差の有意性を検定する。Table 3 はその推定結果である。

製材品と新聞用紙の場合、ダミー変数の係数が 0 である仮説が棄却されなかったため、経済発展水準により GDP 弾性値の差があるとは言い難いことが示された。このことは、所得水準が低い段階においても、高い段階においても、所得増加率と消費増加率の関係は同様であることを意味する。また、合板のダミー変数の係数は負の値をとっており、Table 2 にまとめられた式 (2) による結果と同様に、高所得国における GDP 弾

Table 2. 静学モデルによる需要関数の推定結果  
Parameter estimates of the static demand function

	製材品		合板		削片板		繊維板		新聞用紙		印刷用紙		その他紙・板紙		紙・板紙+	
	High	Low	High	Low	High	Low	High	Low	High	Low	High	Low	High	Low	High	Low
定数項	4.507 (10.59)	5.30 (22.54)	-1.282 (-1.46)	2.494 (5.02)	1.373 (1.93)	1.669 (2.16)	4.443 (9.95)	0.030 (0.03)	1.189 (1.75)	1.781 (3.62)	3.860 (9.63)	3.566 (6.65)	2.490 (4.68)	1.016 (2.29)	4.360 (10.10)	3.309 (10.63)
価格	-0.275 (-7.13)	-0.290 (-8.06)	-0.418 (-8.74)	-0.386 (-6.20)	-0.083 (-1.70)	-0.532 (-6.17)	-0.594 (-10.73)	-0.258 (-2.96)	-0.194 (-3.21)	-0.205 (-2.91)	-0.404 (-8.43)	-0.320 (-5.72)	-0.106 (-2.69)	-0.160 (-3.44)	-0.222 (-6.35)	-0.260 (-6.42)
GDP	1.006 (14.55)	0.868 (19.53)	1.738 (11.61)	1.240 (7.78)	1.053 (8.37)	1.705 (8.31)	0.746 (12.63)	0.959 (3.26)	1.076 (10.56)	0.996 (22.08)	0.970 (27.33)	0.715 (6.20)	0.984 (13.19)	1.618 (15.94)	0.881 (15.06)	1.122 (28.13)
時間	-0.023 (-10.43)	-0.023 (-8.29)	-0.029 (-7.24)	-0.029 (-3.83)	-0.005 (-1.51)	-0.029 (-2.99)	0.023 (9.22)	0.084 (5.91)	-0.011 (-3.12)	-0.008 (-2.11)	0.002 (1.20)	0.026 (4.66)	-0.001 (-0.25)	-0.016 (-3.74)	0.002 (1.26)	0.004 (1.83)
R <sup>2</sup>	0.86	0.72	0.88	0.68	0.79	0.39	0.78	0.55	0.89	0.89	0.94	0.86	0.92	0.79	0.95	0.83
Hausman	41.5	5.67	20.63	39.00	40.15	38.72	1.10	7.89	9.48	3.07	7.40	17.22	12.66	64.08	11.69	27.57
Test	[0.00]	[0.13]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.78]	[0.05]	[0.02]	[0.38]	[0.06]	[0.00]	[0.01]	[0.00]	[0.01]	[0.00]
推定方法	FE	RE	FE	FE	FE	FE	RE	FE	FE	RE	RE	FE	FE	FE	FE	FE

注：High は高所得国グループを表し、OECD 加盟国 30 カ国+Israel, Kuwait, South Africa である。

注：Low は低所得国グループを表し、上記以外の諸国群である。

注：( ) 内の数値は t 値であり、[ ] 内の数値は有意水準である。

注：FE は固定効果モデルを、RE はランダム効果モデルを指す。

Table 3. 所得ダミーを入れた需要関数の推定結果  
Parameter estimates of the demand function including GDP dummy

	製材品	合板	削片板	繊維板	新聞用紙	印刷用紙	その他用紙	紙・板紙
定数項	4.930 (16.71)	0.741 (1.29)	1.472 (2.41)	2.889 (3.32)	1.353 (2.74)	4.093 (9.23)	1.440 (3.77)	3.588 (11.67)
価格	-0.281 (-9.74)	-0.393 (-9.18)	-0.310 (-6.43)	-0.461 (-9.26)	-0.192 (-4.15)	-0.345 (-9.10)	-0.142 (-4.34)	-0.236 (-8.13)
GDP	1.032 (9.67)	1.776 (9.65)	1.189 (7.73)	0.376 (1.71)	1.066 (10.68)	0.663 (6.74)	1.193 (13.10)	0.888 (12.72)
D	-0.132 (-1.52)	-0.544 (-4.08)	0.332 (2.79)	1.390 (8.43)	-0.007 (-0.09)	0.280 (3.94)	0.262 (4.05)	0.319 (6.19)
時間	-0.024 (-8.45)	-0.029 (-6.28)	-0.013 (-3.09)	0.036 (6.01)	-0.010 (-3.33)	0.013 (4.62)	-0.008 (-3.25)	0.002 (0.90)
R <sup>2</sup>	0.85	0.73	0.54	0.02	0.92	0.67	0.86	0.80
Hausman Test	11.5 [0.02]	55.7 [0.00]	90.6 [0.00]	100.4 [0.00]	10.9 [0.03]	32.96 [0.00]	79.09 [0.00]	63.12 [0.00]
推定方法	FE	FE	FE	FE	FE	FE	FE	FE

注：Dは、OECD加盟国+Israel, Kuwait South Africaの33国について0、それ以外の国で1の値をとるダミー変数である。( )内の数値は t値。

力性が高いことが示された。合板は他の林産物に比べ高価なもので、高所得国での需要があることに根ざしていると考えられる。低所得国においては、合板の代わりに削片板や繊維板の GDP 弾力性が高いことが示された。これも Table2 の結果と同様である。さらに新聞用紙を除いた紙製品のダミー変数の係数が正の値をとっており、低所得国における GDP 弾性値が高いことが示された。つまり、途上国の経済成長による紙製品消費の伸び率が高いということである。まとめると、製材品や新聞用紙を除いた林産物について、所得水準により GDP 弾性値が異なることが明らかにされた。また、低所得国では、経済発展とともに紙製品やボード類の需要が伸びていることが分かる。

最後に、式 (4) の動学的パネルモデルによる需要関数を推定し、その結果を Table 4 に示した。表中の Sargan 検定は、パネルデータを用いた推計の際の過剰識別問題について検定するもので、それが棄却されなかったため、操作変数の選択に関する過剰識別問題はクリアされていると結論付けられる。また、Arellano-Bond 検定 (1) や (2) は、それぞれ誤差項の 1 次、2 次の系列相関についての検定結果であり、2 次の系列相関は存在しないことが示された。これらにより、動学的パネルデータモデルは妥当であることが確認された。

推定された係数は経済理論の符号条件を満たしており、統計的にも有意である。前期消費量の係数は、経

済与件の変化に対する需要変化の速度を示すものである。製材品、繊維板、その他紙・板紙について低所得国の調整速度が高所得国より遅いことが示されており、その他製品については調整速度がほぼ似ていることを示している。これは、高所得国では材料の選択が相対的に広いことから、伸縮的に対応できることに根ざしていると考えられる。これに対し、低所得国では、経済環境の変化へ伸縮的に対応し難いためだろうと考えられる。

推定された係数は、短期的な需要弾性値を表しているが、それとは別に長期弾性値を算出し、表の下部に提示した。算出された長期弾性値は静学モデルのそれと若干の差があることが分かる。動学モデルでは、静学モデルによる GDP 弾性値よりも長期弾性値が大きく推定されているように見える。GDP 弾性値をみると、1 を超えているものが多く、GDP に対して弾力的であることが示されている。所得グループ間の GDP 弾性値を比較してみると、削片板以外は高所得国の方が高く推計された。また、価格弾性値は、概ね -0.2 ~ -0.6 と推計され、非弾力的であることが示された。時間変数の係数をみると、製材品、合板、削片板は節約する方向に変化してきたが、紙・板紙製品では顕著な変化が認められなかった。

## 2. モデルの評価

推定されたモデルの予測力を評価するために、各

Table 4. 動学モデルによる需要関数の推定結果  
Parameter estimates of the dynamic demand function

	製材品		合板		削片板		繊維板		新聞用紙		印刷用紙		その他紙・板紙		紙・板紙	
	High	Low	High	Low	High	Low	High	Low	High	Low	High	Low	High	Low	High	Low
定数項	1.309 (1.19)	1.974 (37.83)	0.143 (0.10)	1.406 (10.66)	-0.756 (-0.62)	2.008 (2.84)	0.452 (0.12)	1.042 (2.27)	-0.060 (-0.03)	1.651 (2.18)	0.714 (0.39)	3.583 (3.50)	0.876 (1.22)	2.151 (7.98)	0.124 (0.10)	1.463 (5.31)
価格	-0.168 (-2.74)	-0.058 (-6.24)	-0.267 (-2.67)	-0.155 (-7.48)	-0.041 (-0.63)	-0.375 (-5.36)	-0.273 (-2.43)	-0.252 (-6.29)	-0.087 (-2.30)	-0.157 (-3.49)	-0.360 (-9.40)	-0.357 (-3.78)	-0.047 (-1.28)	-0.168 (-10.20)	-0.050 (-1.96)	-0.120 (-4.29)
GDP	0.899 (3.26)	0.380 (16.18)	0.730 (2.51)	0.520 (16.57)	0.773 (2.86)	0.602 (2.15)	0.727 (1.04)	0.372 (2.41)	0.733 (2.11)	0.513 (2.62)	0.975 (3.04)	0.289 (1.32)	0.688 (2.65)	0.235 (2.36)	0.374 (1.57)	0.454 (7.76)
時間	-0.020 (-2.57)	-0.008 (-7.92)	-0.015 (-2.05)	-0.021 (-14.38)	-0.011 (-1.61)	-0.028 (-2.74)	0.011 (0.77)	0.032 (3.63)	-0.016 (-1.39)	-0.005 (-0.50)	-0.019 (-1.88)	0.015 (1.59)	0.000 (0.11)	0.005 (1.62)	-0.004 (-0.60)	-0.000 (-0.12)
前期消費量	0.380 (4.65)	0.553 (50.81)	0.567 (12.54)	0.521 (22.40)	0.528 (8.62)	0.628 (8.69)	0.434 (3.95)	0.572 (14.65)	0.436 (4.14)	0.400 (5.49)	0.472 (6.62)	0.440 (10.08)	0.393 (2.71)	0.623 (12.96)	0.770 (13.41)	0.611 (26.08)
Sargan	25.51 [1.00]	88.82 [1.00]	27.37 [1.00]	61.87 [1.00]	24.96 [1.00]	35.40 [1.00]	26.62 [1.00]	33.11 [1.00]	23.22 [1.00]	34.38 [1.00]	23.52 [1.00]	40.83 [1.00]	23.57 [1.00]	56.50 [1.00]	25.51 [1.00]	65.58 [1.00]
テスト	-2.84 [0.00]	-5.07 [0.00]	-3.89 [0.00]	-3.37 [0.00]	-2.21 [0.03]	-3.09 [0.00]	-3.23 [0.00]	-3.37 [0.00]	-2.87 [0.00]	-3.30 [0.00]	-3.02 [0.00]	-4.27 [0.00]	-3.13 [0.00]	-4.67 [0.000]	-2.96 [0.00]	-4.786 [0.00]
A-B(1)	0.50 [0.62]	-0.27 [0.79]	-0.16 [0.87]	-1.16 [0.25]	0.75 [0.45]	1.41 [0.16]	1.64 [0.10]	-0.82 [0.41]	0.48 [0.63]	-1.16 [0.25]	-0.99 [0.32]	1.17 [0.24]	-0.12 [0.91]	-1.46 [0.15]	0.51 [0.61]	-1.76 [0.08]
A-B(2)	-0.270 1.449 -0.033	-0.129 0.849 -0.017	-0.617 1.685 -0.035	-0.323 1.086 -0.044	-0.087 1.637 -0.023	-1.051 2.037 -0.075	-0.482 1.284 0.019	-0.589 0.869 0.075	-0.154 1.300 -0.028	-0.261 0.855 -0.008	-0.679 1.848 -0.036	-0.006 0.847 -0.003	-0.077 1.134 0.001	-0.453 0.604 0.013	-0.216 1.613 -0.017	-0.309 1.169 -0.001

注：two-step システム GMM による推計。( ) 内数は t 値であり、[ ] 内数は有意水準である。

注：Sargan 検定は過剰識別制約に関する検定である(帰無仮説は過剰識別が満たされる)。

注：A-B 検定は、Arellano-Bond の系列相関に関する検定である(帰無仮説は系列相関無し)。



モデルによる予測値と実際値の比較を行う。その比較には様々な方法があるものの、本稿では式(5)の平均絶対相対誤差(Mean Absolute Relative Error, MARE)を用いる。この値が小さいほど適合度が高いというわけである。ここで、 $N$ は観測値の数、 $P_t$ はモデルによる予測値、 $A_t$ は実際値を指す。

$$MARE = \frac{1}{N} \sum_t \left| \frac{P_t - A_t}{A_t} \right| \quad (5)$$

製品ごとの各モデルにおけるMAREの算出結果をTable 5に示した。すべての製品について、動学モデルよりも静学モデルの適合度が高いことが示されている。動学モデルは短期弾性値と長期弾性値という両方の情報を提供するメリットを有しているものの、予測力では劣っていることが示されている。同様の結果は、他の先行研究でも言及されている(Chas-Amil and Buongiorno, 2000; Simangunsong and Buongiorno, 2001)。

### 3. 先行研究との比較

林産物について弾性値を求める研究は多数行われており、それぞれのアプローチや分析対象・期間によって異なる結果が得られている。そこで上で試した三つのモデルから算出した弾性値と先行研究の結果を比較してみる。林産物需要について弾性値を推計した先行研究の結果を、Table 6でまとめた。このうち、

Brooks et al. (1995)は、時系列分析の結果であり、Chas-Amil and Buongiorno (2000)、Simangunsong and Buongiorno (2001)、Tachibana, S. et al. (2005)は、パネルデータの分析結果である。分析対象の国や分析期間、アプローチにより弾性値の大きさに差があることがわかる。しかし、ほとんどの場合、林産物需要の価格弾性値が低いことは、今回の分析において、先行研究と同様の結果といえる。所得弾性値については、需要のタイムトレンドを表す変数にかかる係数の符号が負だった製材品、合板、削片板に関しては、タイムトレンドの変数を組み込まない先行研究よりも大きな値が推計された一方、需要のタイムトレンドの符号が正だった繊維板、印刷用紙に関しては、先行研究よりも小さい値が推計された。所得の変化自体が概ね正のタイムトレンドを持っていることから、タイムトレンドを独立した説明変数に加えたことによって、先行研究で得られた弾性値とこのような違いが生まれたと考えられる。今回の分析結果を用いて、需要のシミュレーションを行うと、先行研究で得られた弾性値を用いた場合よりも、製材品、合板、削片板に関しては、GDP成長率の違いによる需要増加率の差が大きくなるとともに、GDP成長が止まると、価格が変わらなくても需要の減少が見込まれることになる。一方、繊維板と印刷用紙に関しては、GDP成長率の違いによる需要増加率の差が緩和されるとともに、GDP成長

Table 5. 林産物需要関数の予測力評価  
Forecasting performance of demand functions with MARE

		静学モデル	所得ダミーモデル	動学モデル
製材品	High	0.016	0.061	0.058
	Low	0.085		0.101
合板	High	0.040	0.172	0.078
	Low	0.273		0.296
削片板	High	0.030	0.065	0.069
	Low	0.110		0.168
繊維板	High	0.053	0.086	0.077
	Low	0.127		0.128
新聞用紙	High	0.030	0.041	0.057
	Low	0.056		0.076
印刷用紙	High	0.024	0.044	0.076
	Low	0.062		0.093
その他用紙・板紙	High	0.019	0.041	0.034
	Low	0.057		0.078
紙・板紙	High	0.014	0.030	0.024
	Low	0.040		0.047

Table 6. 林産物需要における弾性値に関する先行研究  
Published long-run own price and GDP elasticity of demand for forest products

製品	[1]		[2]	[3]	[4]			[5]	[6]	
	High	Low			DC	M-DC	LDC		High	Low
<b>価格</b>										
製材品	-0.38	-0.46		-0.22	-0.221		-0.218	-0.753	-0.16	-0.21
合板	-0.09	-0.25		-0.25			-0.306	-0.066	-0.13	-0.22
削片板	0.00	-0.69							-0.24	-0.05
繊維板	-0.26	-0.68							-0.52	-0.52
ボード類						0.000	-1.035			
新聞用紙	-0.27	-0.13	-0.5	-0.18					-0.05	-0.18
印刷用紙	-0.26	-0.09	-0.9	-0.27					-0.15	-0.37
その他用紙	0.00	0.00	-0.3						-0.06	-0.14
紙・板紙類					-0.205	-0.407	-0.312	-0.297		
<b>GDP</b>										
製材品	0.16	0.28		0.50	0.765	0.000		0.478	0.32	0.46
合板	0.10	1.47		0.86	0.000		1.190	0.513	0.73	0.74
削片板	0.97	1.02		1.14					1.15	0.65
繊維板	1.38	1.55		1.25					0.82	0.82
ボード類					0.972	1.129		0.889		
新聞用紙	0.73	1.54	0.6	1.07					1.14	1.05
印刷用紙	1.52	1.47	1.1	1.55					1.66	1.11
その他用紙	1.61	1.02	0.4	1.27					0.94	0.92
紙・板紙類				1.42	0.466	0.544	0.999	1.130		

注：[1] Brooks et al. (1995), 8 カ国, 1964-1991, [2] Chas-Amil and Buongiorno (2000), 15 EU countries, 1969-1992, [3] Simangunsong and Buongiorno (2001) 1973-1997, 62 国, Static Model, [4] Tachibana, S. et al.(2005), 1992-2000, 21 カ国, [5] WFPM (2006), [6] GFPM

が止まっても、価格が変わらなければ需要の増加が見込まれることになる。

### まとめ

本稿の目的は、国際パネルデータを用いて木材製品や紙・パルプなどの林産物群に対して世界の需要関数を推定し、そのパラメータによって林産物需要の価格弾性値や GDP 弾性値およびタイムトレンドを推計することである。分析に用いたデータの出所は FAOSTAT と IMF のデータベースであり、分析期間は 1980～2007 年である。分析の際、静学モデルと動学モデル、GDP ダミーモデルを試み、それぞれの結果を比較した。その結果、以下のようなことが明らかされた。

まず、林産物需要の価格弾性値は、製品ごとに差があるものの、概ね -0.2～-0.4 の辺りで推定され、価

格に対する林産物需要が非弾力的であることが示された。所得グループごとの価格弾性値をみると、ボード類では差が見られるものの、その他の製品については類似の弾性値が示されている。つまり、経済の発展水準に関わらず、価格変化への対応は似ているということである。

次に、林産物需要の GDP 弾性値は 1 に近いものが多く、概ね弾力的であることが示された。所得グループごとの GDP 弾性値をみると、合板や印刷用紙では高所得国の方が高く、削片板、繊維板、その他用紙では低所得国の方が高い。製材品や新聞用紙ではグループ間の弾性値の差は小さい。

また、所得と価格を固定した場合の時間による林産物需要の変化をみると、製材や合板、削片板については負であり、繊維板は正であることが示された。木材消費の大部分を占めている製材や削片板、合板は、他

の材料に代替される場合が多く、利用を減らす方向で需要が展開している。その代わりに、残廃材や低質材などで製造される繊維板は利用を増やす方向で需要が展開している。一方、紙・板紙製品については時間に対する需要変化は統計的に有意ではない。

需要のタイムトレンドを表す変数にかかる係数の符号が負だった製材品、合板、削片板については、タイムトレンドの変数を組み込まない先行研究よりも大きな所得弾性値が推計された一方、需要のタイムトレンドの符号が正だった繊維板、印刷用紙に関しては、先行研究よりも小さい所得弾性値が推計された。年代とともに需要が有意に変化していることが明らかになったことによって、タイムトレンドを変数に含めない先行研究よりも、本研究の結果は需要動向の実態をよりよく反映した構造把握になったと考えられる。

動学モデルにより推計された需要の調整速度は、グループ別の経済環境の変化に対する需要の対応を示している。製材品、繊維板、その他紙・板紙については、低所得国グループの調整速度が遅く、その他製品については両グループの調整速度に顕著な差はないことが示されている。高所得国グループでは、利用可能な材料の選択範囲が相対的に広く、価格変化に伸縮的に対応できるけれども、低所得国グループでは木材への依存が高く、材料の選択範囲が狭いためではなかろうかと考えられる。

三つの推定モデルを比較すると、静学モデルと所得ダミーモデルの係数は似ているものの、動学モデルの長期弾性値は他モデルのそれより高く推計されている。ところが平均絶対相対誤差で行った予測力評価において、動学モデルよりも静学モデルが優れている。このことは世界林産物市場モデルで使う弾性値として、静学モデルから推計された弾性値の方が望ましいことを示唆している。なるべく単純なモデルが好ましいという単純性の原則からも静学モデルの方が好ましいと考えられる。

## 引用文献

- Baudin, A. and Lundberg, L. (1987) A World Model of the Demand for Paper and Paperboard. *Forest Science* 33(1):185-196
- Brooks, D., Baudin, A. and Schwarzbauer, P. (1995) Modeling Forest Products Demand, Supply and Trade. UN-ECE/FAO Timber and Forest Discussion Papers ECE/TIM/DP/5, 39pp. United Nations, Geneva.  
[Online] <<http://www.fao.org/DOCREP/003/AA036E/AA036E00.HTM>>
- Bruin, J. 2006. New Test: Command to Compute New Test. UCLA: Academic Technology Services. Statistical Consulting Group.  
[Online] <<http://www.ats.ucla.edu/stat/stata/ado/analysis/>>
- Buongiorno, J., Zhu, S., Zhang, D., Turner, J., and Tomberlin, D. (2003) *The Global Forest Products Model*. Academic Press.
- Chas-Amil, M. and Buongiorno, J. (2000) *The Demand for Paper and Paperboard: Econometric Models for the European Union*. *Applied Economics* 32:987-999.
- FAO (2009) FAOSTAT Forestry Database  
[Online] <<http://faostat.fao.org/site/626/default.aspx>>
- Kallio, M., Dykstra, D.P. and Binkley, C.S. (eds). (1987) *The Global Forest Sector: An Analytical Perspective*. John Wiley and Sons. New York. pp706.
- 北村行伸 (2005) パネルデータの分析. 一橋大学経済研究叢書 53. 岩波書店. 282pp.
- Simangunsong, B.C.H. and Buongiorno, J. (2001) *International Demand Equations for Forest Products: A Comparison of Methods*. *Scand. J. For. Res.*16:155-172
- 森林総合研究所 (2006) 森林・林業の資源的、社会経済的長期見通し手法の開発. 森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集 12: 11-25.
- Tachibana, S., Oka, H., and Tamura, K.(2005) *Panel Data Analysis on International Demand for Forest Products*. (Naito, K. ed.) *The Role of Forests for Coming Generations: Philosophy and Technology for Forest Resource Management*. pp.71-81. Japan Society of Forest Planning Press. Tokyo.
- Turner, J.A. and Buongiorno, J. (2004) *Estimating Price and Income Elasticities of Demand for Imports of Forest Products from Panel Data*. *Scand. J. For. Res.*19:358-373
- Zhu, S., Tomberlin, D. and Buongiorno, J. (1998) *Global Forest Products Consumption, Production, Trade and Prices: Global Forest Products Model Projections to 2010*. Working Paper GFPOS/WP/01, FAO, Rome.  
[Online] <<http://www.fao.org/docrep/003/x1607e/X1607E00.htm>>

