

社会経済発展と木材資源消費との関係について

加用 千裕¹・橋本 征二²・水上 薫³・高木 重定⁴・岡 裕泰⁵

¹正会員 東京農工大学 大学院農学府自然環境保全学専攻 (〒183-8509 東京都府中市幸町3-5-8)

E-mail:kayoc@cc.tuat.ac.jp

²正会員 立命館大学 理工学部環境システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

E-mail:shashimo@fc.ritsumeai.ac.jp

³非会員 みずほ情報総研 株式会社 環境エネルギー第1部 (〒101-8443 東京都千代田区神田錦町2-3)

E-mail:midori.mizukami@mizuho-ir.co.jp

⁴非会員 みずほ情報総研 株式会社 環境エネルギー第1部 (〒101-8443 東京都千代田区神田錦町2-3)

E-mail:shigesada.takagi@mizuho-ir.co.jp

⁵非会員 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)

E-mail:oka@ffpri.affrc.go.jp

社会経済発展と木材消費との関連性を明らかにするために、世界40カ国における過去32年を対象として、経済指標(1人当たりGDP)や人間開発指標(HDI)と1人当たり木材消費量のパネルデータ分析を行った。製材、合板、木質ボードの消費量は、GDPの上昇に対して指数曲線で表される増加傾向があり、紙・板紙の消費量は、逆U字曲線で表されるEKCが存在する可能性が確認された。また、製材と合板は、消費量に影響する要因として各国におけるGDP以外の固有特性の存在が大きく、木質ボードと紙・板紙は、固有特性の影響は小さく、経済発展に伴う各国共通の消費傾向があると考えられる。木質燃料は、GDPとHDIのどちらも消費量との関連性が非常に小さく、これらの指標以外の他の要因が存在する可能性が高い。

Key Words : panel data analysis, per capita consumption, per capita GDP, Human Development Index, Environmental Kuznets Curve, individual specific effects

1. はじめに

持続可能な社会を構築するための手段として、循環型・低炭素型・自然共生型の社会経済活動を実現していくことが求められている。特に、今後の経済成長が見込まれる発展途上国における持続可能な発展が地球規模で重要な課題となっている。本研究で着目する木材資源は、鉱物資源や化石資源のような枯渇性資源と異なる再生可能なバイオマス資源であり、様々な地球環境問題と関わりを持つ。例えば、木材を材料として長期間利用することによる炭素貯蔵効果やエネルギー集約的材料を代替することによる化石燃料削減効果、バイオマスエネルギーとして利用することによる化石燃料代替効果を通して地球温暖化の緩和に貢献する¹⁾。一方、木材用途のひとつである紙パルプの製造は、世界全体で鉄鋼産業、石油化学産業、セメント産業に次いでエネルギー消費量の大きい産業²⁾であり、地球温暖化やエネルギー資源枯渇と関連があると考えられる。また、木材の育林や伐採は、森林の生物多様性へも影響する。これらのことから、今後の社会経済の変化によって将来どのように木材資源の需

要が変化し、それに伴ってどのように環境へ影響を与えるのかを検討していくことが重要となる。その上で、他の資源とのバランスも考慮しながら木材資源の適切な活用目標やその実現に向けた方策を検討する必要がある。木材需要の将来予測を行うにあたり、社会経済の発展と木材消費との間にどのような関連性があるのかを明らかにしておくことが不可欠となる。

木材資源に限らず他の資源も対象とした既往研究として、経済発展と資源消費との間に逆U字曲線やN字曲線で表される環境クズネッツ曲線 (Environmental Kuznets Curve: EKC) 仮説が存在するかどうかを検証する研究が報告されている。EKCとは、環境負荷は、経済発展の初期段階では増加するが、ある程度の経済発展を遂げると飽和あるいは減少に向かうとする仮説である³⁾。大気汚染物質⁴⁾、温室効果ガス⁵⁾、森林破壊⁶⁾等の環境影響を対象としたEKC研究があるが、資源消費についても、それによって資源の生産、輸送、廃棄等のライフサイクルを通して様々な環境影響を誘発するため、EKCの存在を検証する研究が進められている。Canas et al. (2003)⁷⁾は、先進16カ国を対象にGDP (購買力平価換算: PPP, international

\$)と天然資源投入量(Direct Material Input: DMI)の間にEKC仮説が成立するかどうかを検証しており、両者の間に逆U字で表される二次曲線やN字で表される三次曲線の関係が確認され、EKCが存在すると報告している。一方、Bringezu et al. (2004)⁹⁾は、26カ国を対象にGDP (US \$)とDMIとの関係、11カ国を対象にGDPと関与物質総量 (Total Material Requirement: TMR)との関係についてEKCの観点を踏まえて分析しており、DMIとTMRのどちらも、GDPに対してデカップリング傾向はあるものの、明らかなEKCの存在は確認されなかったと報告している。上記の2つの既往研究は、分析対象国や用いたGDPが異なる等の相違点があり単純に比較できないが、経済水準と資源消費との間に明確なEKC傾向はまだ存在しないと考えられる。また、金属資源に着目した研究として、Binder et al. (2006)⁹⁾がGDP (US \$)と銅・亜鉛消費量との関係を、Mao and Graedel (2009)¹⁰⁾がGDP (international \$)と鉛消費量との関係を分析している。どちらの研究も、GDPの上昇に対する直線的な増加の関係が示されている。

そして、経済発展と木材資源消費との関係については、木材需要関数を推定する観点から、世界各国を対象とした木材消費のGDP弾性値と価格弾性値を検討する研究がこれまで多数行われてきた^{11), 12), 13), 14), 15)}。GDP弾性値は、多くの既往研究で1に近い値が報告されており、木材消費は経済水準とほぼ連動していることが明らかになっている。しかしながら、これらの既往研究では、回帰モデルに一次曲線(あるいは両辺対数一次曲線)だけが想定されており、逆U字曲線やN字曲線のようなEKCや指数的な増加傾向といった線型関数では説明できない関連性が存在している可能性があるが、そのような検討は行われてこなかった。Kayo et al. (2012)¹⁶⁾がGDPと紙・板紙消費量との間にEKC仮説が成立するかどうかを分析しているが、製材や木質燃料等の他の用途も含めた木材消費全体における研究はこれまで報告されていない。

また、経済水準よりも広義な観点で社会経済の発展と資源消費との関連を検討する試みとして、人間開発指標(Human Development Index: HDI)との関係を分析した既往研究がいくつか報告されている。HDIとは、人々の生活の質や社会の進展段階を計測するために、健康で長生きをすること(出生時平均余命)、教育を受ける機会を得ること(成人識字率、教育機関就学率)、一定水準の生活に必要な経済手段が確保できること(1人当たりGDP(PPP))の3つの側面を指数化したものであり、0から1までの数値で示される¹⁷⁾。Dias et al. (2006)¹⁸⁾は、43カ国を対象にHDIとエネルギー資源消費量との関連性を分析している。HDIが高くなるほどその上昇に対する消費量の増加率は大きくなる関係が報告されている。Steinberger and Roberts (2010)¹⁹⁾も世界各国においてHDIとエネルギー資源消費量やそれに伴うCO₂排出量との関係を分析している。エネ

ルギー消費やCO₂排出に対するHDIが対数曲線でモデル化されており、一定水準のエネルギー消費量に到達すると、その後はほとんどHDIが上昇しないにも関わらず、エネルギー消費だけが増加している状況を指摘している。また、前述のBinder et al. (2006)⁹⁾やMao and Graedel (2009)¹⁰⁾もHDIと金属消費量との関係を考察しており、上述のエネルギー資源消費量に関する既往研究と同様の傾向が確認されている。そして、木材消費については、HDIとの関連性を検討した研究は未だ報告されてない。

以上のような既往研究における課題を踏まえ、本研究では、今後の社会経済発展が見込まれる国々における木材資源需要の将来推定に資することを目的として、経済水準と木材消費との関連性を定量的に明らかにする。具体的には、世界各国における複数年を対象として、1人当たりGDP(PPP)に対する1人当たり木材消費量の回帰分析(パネルデータ分析)を行う。複数の回帰モデルや複数の回帰係数の推定方法を考慮した分析を行うことにより、経済発展と木材消費の関係を詳細に考察し、将来推定に向けた知見を得る。さらに、経済水準だけでなく寿命や教育水準も考慮したHDIと1人当たり木材消費量との関連性についても、上述のパネルデータ分析や時間変化に着目した分析を行うことにより、両者の関係を明らかにする。

分析対象国については、過去から現在に至る社会経済の進展に対する知見を得たいことから、これまでに既に経済発展を遂げている国々を対象とすることとし、OECDに加盟している34カ国(Australia, Austria, Belgium, Canada, Chile, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Israel, Italy, Japan, Korea, Rep., Luxembourg, Mexico, Netherlands, New Zealand, Norway, Poland, Portugal, Slovak Republic, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey, United Kingdom, United States)およびBRIICSとして知られる6カ国(Brazil, Russian Federation, India, Indonesia, China, South Africa)の合計40カ国とした。分析対象期間は、GDP(PPP)やHDIの入手可能年の制約から1980年～2011年の過去32年間とした。また、木材を製材、合板、木質ボード、紙・板紙、木質燃料の5用途に分類し、用途ごとにそれぞれ分析を行うこととした。

2. 分析方法と使用したデータ

(1) パネルデータ分析

世界40カ国における32年間のパネルデータを用いて、木材の用途ごとに、1人当たりGDPあるいはHDIを説明変数、1人当たり消費量を被説明変数とする回帰分析を行った。分析対象国・期間における1人当たりGDPに対する1人当たり消費量を図-1に、HDIに対する1人当たり

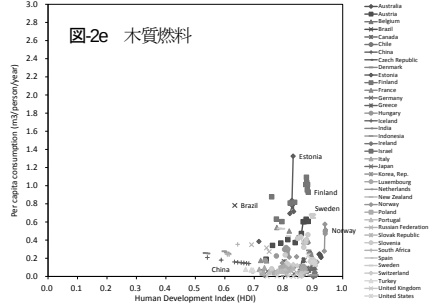
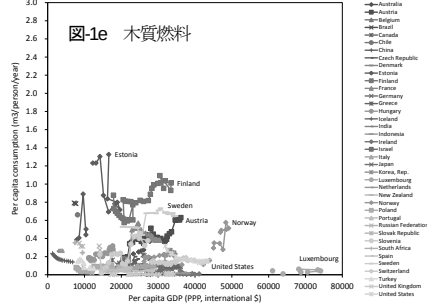
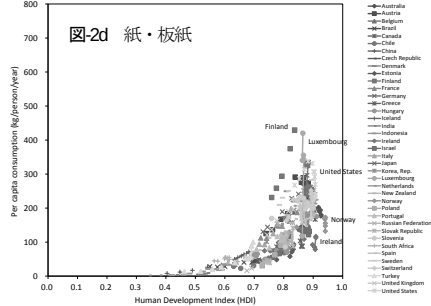
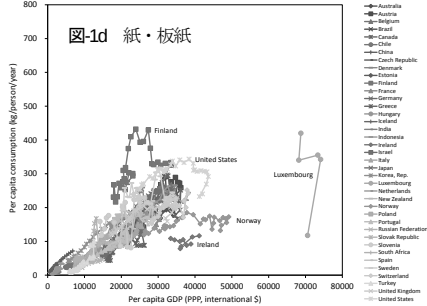
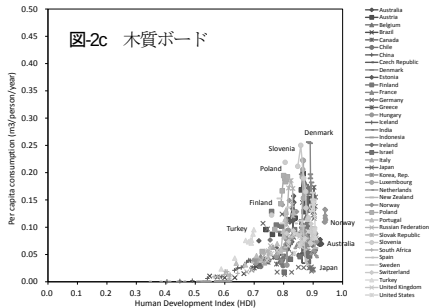
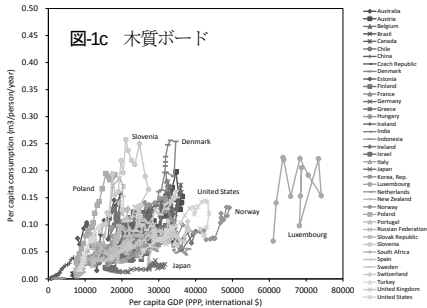
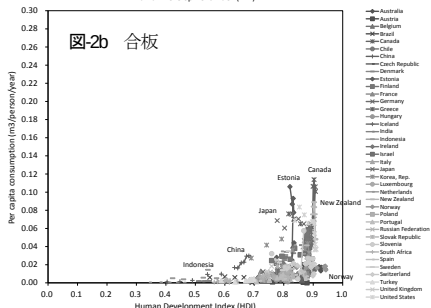
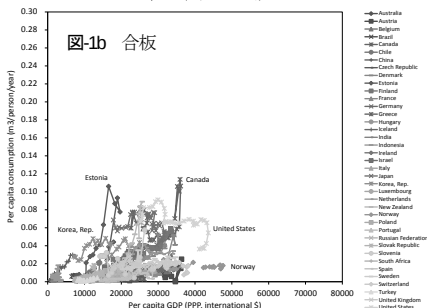
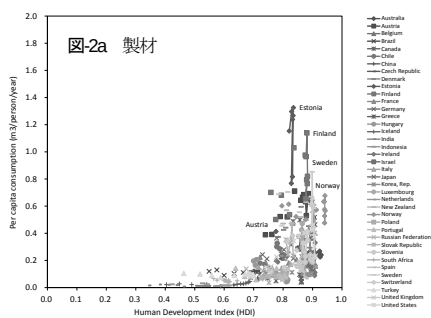
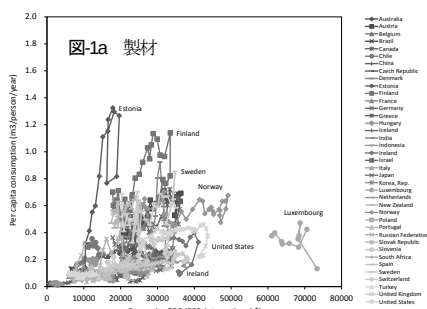


図-1 1人当たりGDPに対する1人当たり消費量

図-2 HDIに対する1人当たり消費量

消費量を図-2に示した。回帰モデルは、一次、二次、三次、対数、指数曲線とし、式(1)～(5)に示した。回帰係数と定数項の推定方法は、通常の回帰分析に用いられる最小2乗法 (ordinary least squares: OLS) 推定とともに、各国の固有特性を考慮する固定効果 (fixed-effect) 推定とランダム効果 (random-effect) 推定を行うこととした。OLS推定は、分析対象の全ての国が同一の傾きと同一の定数項を持ち、各国の異質性は存在しないと仮定する方法である。一方、各国の固有特性を考慮する固定効果推定は、傾きは全ての国で同一であるが、定数項はそれぞれの国で異なると仮定する方法であり、ランダム効果推定は、固有特性を定数項ではなく確率変数と仮定する方法である²⁰。これらの推定方法に対して、F検定、Breusch-Pagan検定、Hausman検定をそれぞれ行い、推定方法の適合性を考察した。F検定は、固定効果推定よりもOLS推定が適合的であるという仮説を検定するもので、この仮説が棄却されれば固定効果推定が採用される。Breusch-Pagan検定は、ランダム効果推定よりもOLS推定が適合的であるという仮説を検定し、この仮説が棄却されればランダム効果推定が選ばれる。Hausman検定は、固定効果推定よりもランダム効果推定が適合的であるとする仮説を検定し、この仮説が棄却されると固定効果推定が選定される。

$$Y_{it} = a + b \cdot X_{it} + z_i + u_{it} \quad (1)$$

$$Y_{it} = a + b \cdot X_{it} + c \cdot X_{it}^2 + z_i + u_{it} \quad (2)$$

$$Y_{it} = a + b \cdot X_{it} + c \cdot X_{it}^2 + d \cdot X_{it}^3 + z_i + u_{it} \quad (3)$$

$$Y_{it} = a + b \cdot \ln X_{it} + z_i + u_{it} \quad (4)$$

$$\ln Y_{it} = a + b \cdot X_{it} + z_i + u_{it} \quad (5)$$

ここで、 i は国、 t は時間 (year) を示す。 Y は用途ごとの1人当たり消費量 (製材、合板、木質ボード、木質燃料: $m^3/person/year$ 、紙・板紙: $kg/person/year$)、 X は1人当たりGDP (PPP, international\$/person) あるいはHDI (no dimension) を示す。 a は定数項、 b 、 c 、 d は回帰係数、 u は誤差項を示す。 z は各国における固有特性を示し、OLS推定ではこの固有特性を考慮せず ($z = 0$)、固定効果推定では各国で異なる定数として考慮し、ランダム効果推定では確率変数と仮定し誤差項に含めて推定する。なお、式(5)は指数曲線 $Y = a \cdot b^X$ を対数変換しており、 $a = \ln a$ 、 $b = \ln b$ である。

また、回帰分析の代表的な問題点として、本来はランダムであるべき誤差項が偏って分散する不均一分散と誤差項の間に相関が生じる系列相関が挙げられ、それらによって t 値が過大評価 (標準誤差が過小評価) される可能性があり、本来は統計的に有意でない変数を有意であると判断してしまう危険性がある。そのため、不均一分散には、Breusch-Pagan/Cook-Weisberg検定を行い、分散が均一であるという仮説が棄却された場合は、Robust標準誤

表-1 使用したデータの基本統計量

Variable	Unit	N	Mean	Std. Dev.	Min.	Max.
Per capita sawnwood consumption	$m^3/person/year$	1083	0.247	0.215	0.007	1.323
Per capita plywood consumption	$m^3/person/year$	1018	0.019	0.021	0.000	0.114
Per capita wood board consumption	$m^3/person/year$	1073	0.070	0.050	0.000	0.490
Per capita paper and paperboard consumption	$kg/person/year$	1093	131.890	88.172	1.790	431.920
Per capita wood fuel consumption	$m^3/person/year$	642	0.231	0.240	0.000	1.326
Per capita GDP	international \$/person	1201	21168.840	11598.060	524.000	74114.000
HDI (Human Development Index)	-	464	0.797	0.114	0.344	0.943

差を推定することとし、系列相関にはDurbin-Watson検定を行い、系列相関が生じている場合は、Prais-Winsten法を用いて系列相関を取り除くこととした²⁰。

以上のような方法によって回帰分析を行った上で、最も説明力の高い回帰モデルを判断する際、各モデルの回帰係数の統計的有意性を確認し、全ての回帰係数が有意であったモデルの中で自由度修正済み決定係数が最も高いものを選定することとした。

(2) 使用したデータ

木材の用途ごとの1人当たり消費量 ($m^3/person/year$, $kg/person/year$) は、FAO²¹)から引用した生産量、輸入量、輸出量から消費量 (= 生産量 + 輸入量 - 輸出量) を算定し、World Bank²²)から引用した人口で除することにより算出した。なお、FAO²¹)において、製材は“Sawnwood”，合板は“Plywood”，木質ボードは“Particle board”と“Fibreboard”，紙・板紙は“Paper and paperboard”，木質燃料は“Wood fuel”の項目をそれぞれ抽出した。1人当たりGDP (PPP, international \$/person) はWorld Bank²²)から引用し、HDIはUNDP²³)から取得した。使用した各種データの基本統計量 (データ数、最小値、最大値、平均値、標準偏差) を表-1に示した。

3. 分析結果と考察

(1) 1人当たりGDPと1人当たり木材消費量の関連性

木材の用途ごとに、1人当たりGDPを説明変数、1人当たり消費量を被説明変数としたパネルデータ分析の結果を表-2に示した。以下、木材の用途ごとに詳しく結果を考察することとする。

製材では、指数曲線においてモデル内の全ての回帰係数に統計的有意性が確認され (表-2)、自由度修正済み決定係数も最も高く、経済水準と製材消費量との関係を最も説明しているモデルと考えられる。指数曲線モデルにおけるOLS推定、固定効果推定、ランダム効果推定の結果を図-3aに示した。また、OLS推定と固定効果推定において、指数曲線モデルから得られる1人当たり製材消費量と人口²²)を用いて各国の製材消費量を算定し、40カ国全体を集計した結果と実績値を図-4aに示した。なお、各国の固有特性を確率変数と仮定するランダム効果推定は、各国において回帰モデルの定数項を算出することが不可能であることから、消費量の推定を行っていない。

表-2 1人当たり GDP を説明変数としたパネルデータ分析結果

[illegible]

***, **, and * indicate significance levels of 1%, 5%, and 10%, respectively.

a, b, c "OLS," "Fixed" and "Random" indicate ordinary least squares estimation, fixed-effect estimation and random-effect estimation, respectively.

† Constant in the Hecke-Heck estimation is given for each country.

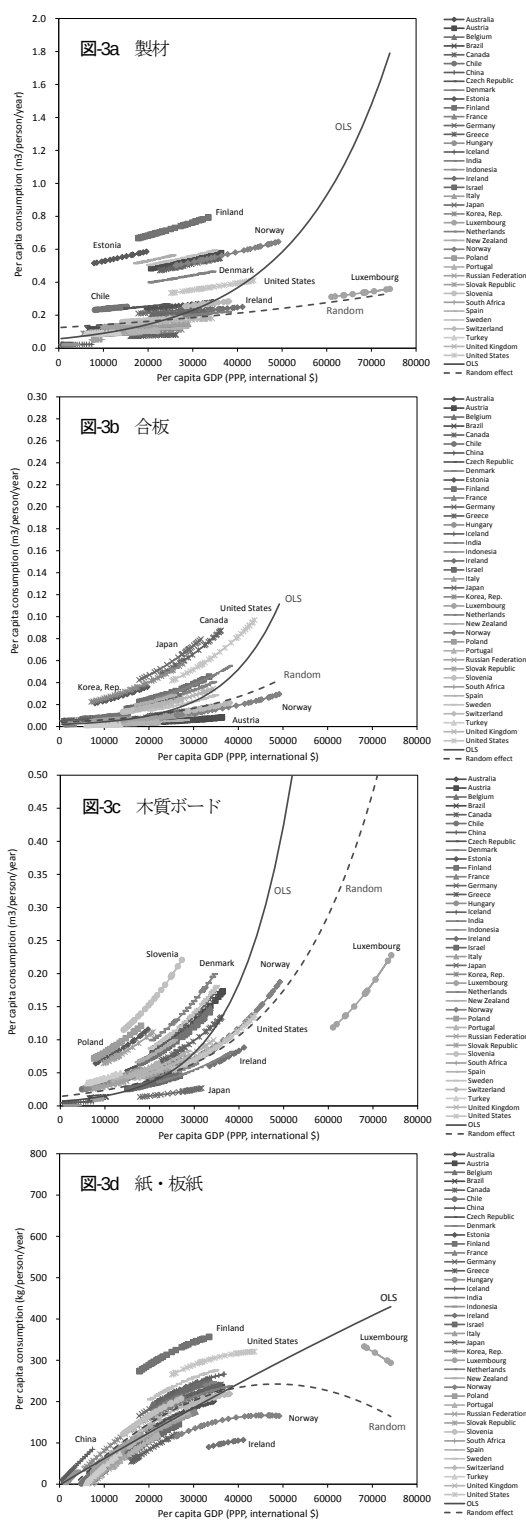


図-3 1人当たりGDPに対する1人当たり消費量の回帰モデル
(注：国ごとの曲線は固定効果推定，実線はOLS推定，点線はランダム効果推定)

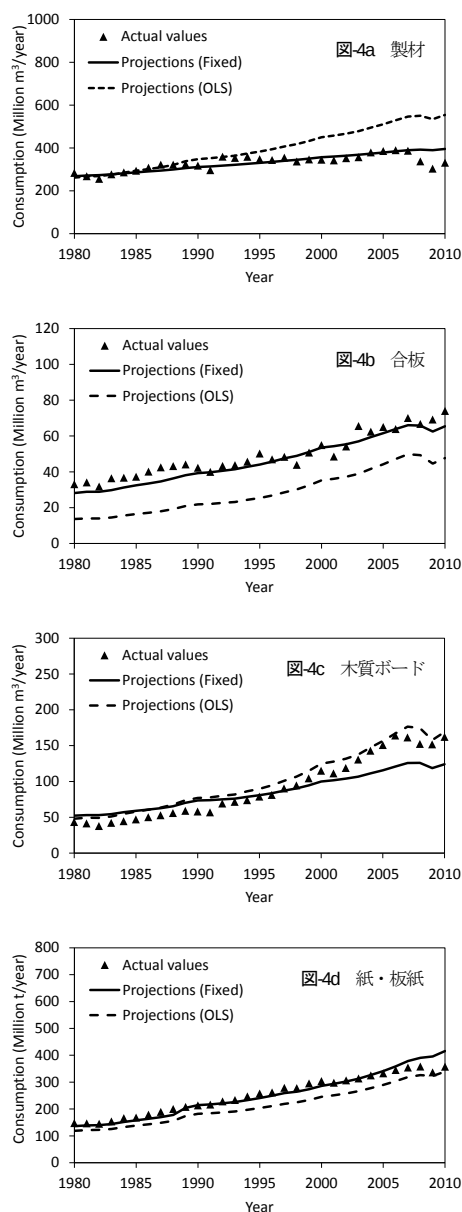


図-4 40カ国(OECD, BRICS)における消費量の推定値と実績値

推定値の実績値に対する乖離は，OLS推定では，最小で0%，最大で76%，固定効果推定では，最小で0%，最大で28%であり，固定効果推定の方が推定精度が高く将来予測には適していると判断できる．なお，F検定とHausman検定の結果(表-2)からもこの推定方法が支持された．製材の消費量において，経済水準だけでは説明できない木を使う文化や生活習慣等の固有特性が各国に存在すると考えられる．また，現時点で経済発展と製材消費との間に飽和・減少傾向はみられず，増加傾向が確認されたが，固定効果推定によると，その増加傾向は指数

的ではなく直線に近い状態であることが分かった (図-3a)。

合板と木質ボードにおいても、回帰係数の統計的有意性と自由度修正済み決定係数 (表-2) から、指数曲線が最も説明力の高いモデルと判断された。このモデルにおける3つの推定方法の結果を図-3b (合板) と図-3c (木質ボード) に示した、また、OLS推定と固定効果推定における指数曲線モデルの1人当たり消費量と人口²⁾から推定した合板と木質ボードの消費量と実績値を図-4b (合板) と図-4c (木質ボード) に示した。合板では、OLS推定で最小26%, 最大60%, 固定効果推定で最小0%, 最大18%の乖離があり、OLS推定よりも固定効果推定の方が実績値と整合的で推定精度が高かったことから、各国における固有特性が存在することが確認された。また、木質ボードでは、F検定 (表-2) においてOLS推定よりも固定効果推定が適格的であり、各国における固有特性が存在することが支持された。しかし、推定値と実績値との乖離は、OLS推定で最小2%, 最大37%, 固定効果推定で最小3%, 最大41%となり (図-4c)、両者に差はあまりなく、OLS推定の方が実績値と若干整合的であり、製材や合板と異なる結果であった。木質ボード消費量の将来推定において、各国における固有特性を考慮しなくても、OLS推定による各国一律の係数を用いた予測ができると考えられる。合板と木質ボードのどちらも、経済発展に対して指数的に増加している傾向が確認されたが、経済水準の上昇に対する消費量の増加率は、合板よりも木質ボードの方が大きいことが分かった。木材の用途が従来の合板から削片板や繊維版といった木質ボードへ移行していることが予想される。

紙・板紙では、回帰係数の有意性と自由度修正済み決定係数 (表-2) から、固定効果推定による二次曲線が最も説明力が高いモデルと考えられる。このモデルは逆U字曲線であり、経済発展と紙・板紙消費との間にEKCが成立していると判断できる。なお、1章において紹介したKayo et al. (2012)は、世界130カ国における1992年～2006年の15年を対象として、経済水準と紙・板紙消費量との関係を分析しており、両者の間に逆U字曲線の存在が確認され、本研究と同様の結果が報告されている。二次曲線モデルにおけるOLS推定、固定効果推定、ランダム効果推定の結果を図-3dに示した、また、OLS推定と固定効果推定における二次曲線モデルから推定した紙・板紙消費量と実績値を図-4dに示した。F検定 (表-2) では、各国の固有特性が存在する結果となったが、推定値と実績値との比較では、OLS推定で最小4%, 最大22%, 固定効果推定で最小0%, 最大18%となり、両者に差はあまり生じていなかった。そのため、紙・板紙も木質ボードと同様に、製材や合板と比べると各国の異質性は小さいのではないかと考えられる。固定効果推定の二次曲線モデ

ルにおいて、消費量が減少に向かうターニングポイントとなる経済水準は、45,809 international \$/personであり、分析対象国の平均値21,169 international \$/person (表-1) の約2.2倍であるが、最大値74,114 international \$/person (2007年, Luxembourg) と比較すると低水準であることが分かった。ただし、OLS推定における二次曲線モデル (ただし、回帰係数の統計的有意性はない) では、ターニングポイントが現時点で確認されていないことや、固定効果推定においても、二次曲線モデルに次いで指数曲線モデルの自由度修正済み決定係数が大きいことから (表-2)、現時点でEKCの存在は頑強とはいえないだろう。EKCの成立の有無については、もう少し今後の動向を観測する必要がある。

木質燃料では、対数曲線や指数曲線の回帰係数に統計的有意性があったが、自由度修正済み決定係数は0.1未満と非常に低かった (表-2)。そのため、説明力があるモデルは確認できず、経済発展と木質燃料消費量との間に明確な関連性は認められなかったことから、木質燃料の消費には経済水準以外の他の因子が影響していると考えられる。

(2) HDIと1人当たり木材消費量の関連性

木材の用途ごとに、HDIを説明変数、1人当たり消費量を被説明変数としたパネルデータ分析の結果を表-3に示した。適切な推定方法における回帰係数の統計的有意性と自由度修正済み決定係数から、製材、合板、木質ボード、紙・板紙において、指数曲線が最も説明力の高いモデルと考えられる。この結果は、1章において紹介したHDIとエネルギー資源消費量との関係^{18), 19)}、HDIと金属資源消費量との関係^{9), 10)}を検討した既往研究と同様の傾向であった。しかし、木質燃料は、前節(1)における1人当たりGDPの結果と同様に、自由度修正済み決定係数が非常に低く、HDIで説明することはできないと判断した。木質燃料を除く4用途について、指数曲線モデルにおけるOLS推定、固定効果推定、ランダム効果推定の結果を図-5に示した。どの用途も、HDIが0.8未満では、HDIが高くなるほど、HDIの上昇に対する消費量の増加率が大きくなる関係があると考えられる。しかし、HDIが0.8以上では、そのような関係が確認できず、HDIと消費量の関係は不明瞭になるとみられる。今後、HDIが十分高い国・期間とそうでない国・期間にグループ化し、それぞれ回帰分析を行い、両者の傾向を考察する必要があると考える。

ここで、分析対象の40カ国において、10年ごと (1980年、1990年、2000年、2010年) にそれぞれ指数曲線モデルによる回帰分析を行ったところ (図-6)、どの用途においても、同水準のHDIに到達する際の1人当たり消費量は、時間経過とともに減少していることが分かった。例

表-3 HDI を説明変数としたパネルデータ分析結果

Sawtooth				Poisson				Wood bed				Page and preboarded				Wood bed			
Linear	OLS ^a	F-test ^b	R-squared	Linear	OLS	F-test	R-squared	Linear	OLS	F-test	R-squared	Linear	OLS	F-test	R-squared	Linear	OLS	F-test	R-squared
Relief (a vs eqn[1])	0.81 ***	0.77 ***	0.19	Relief (a vs eqn[1])	0.082 ***	0.058 ***	0.028 ***	Relief (a vs eqn[1])	0.261 ***	0.24 ***	0.048 ***	Relief (a vs eqn[1])	0.420 ***	0.40 ***	0.046 ***	Relief (a vs eqn[1])	0.358 ***	0.30 ***	0.041 ***
Relief (a vs eqn[2])	0.19	0.16	0.03	Relief (a vs eqn[2])	0.044	0.031	0.018	Relief (a vs eqn[2])	0.141	0.11	0.013	Relief (a vs eqn[2])	0.175	0.15	0.021	Relief (a vs eqn[2])	0.175	0.15	0.021
Constant for p, in eqn[1]	0.00	0.00	0.00	Constant for p, in eqn[1]	0.00	0.00	0.00	Constant for p, in eqn[1]	0.00	0.00	0.00	Constant for p, in eqn[1]	0.00	0.00	0.00	Constant for p, in eqn[1]	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[3])	0.23	0.20	0.06	Relief (a vs eqn[3])	0.029	0.025	0.010	Relief (a vs eqn[3])	0.042	0.037	0.015	Relief (a vs eqn[3])	0.055	0.050	0.020	Relief (a vs eqn[3])	0.055	0.050	0.020
Relief (a vs eqn[4])	0.42	0.42	0.22	Relief (a vs eqn[4])	0.23	0.20	0.06	Relief (a vs eqn[4])	0.42	0.42	0.22	Relief (a vs eqn[4])	0.39	0.39	0.06	Relief (a vs eqn[4])	0.42	0.42	0.22
Relief (a vs eqn[5])	0.28	0.27	0.17	Relief (a vs eqn[5])	0.229	0.19	0.09	Relief (a vs eqn[5])	0.375	0.337	0.037	Relief (a vs eqn[5])	0.55	0.52	0.052	Relief (a vs eqn[5])	0.55	0.52	0.052
Relief (a vs eqn[6])	0.26	0.25	0.15	Relief (a vs eqn[6])	0.218	0.19	0.07	Relief (a vs eqn[6])	0.375	0.337	0.037	Relief (a vs eqn[6])	0.55	0.52	0.052	Relief (a vs eqn[6])	0.55	0.52	0.052
Relief (a vs eqn[7])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[7])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[7])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[7])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[7])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[8])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[8])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[8])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[8])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[8])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[9])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[9])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[9])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[9])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[9])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[10])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[10])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[10])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[10])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[10])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[11])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[11])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[11])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[11])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[11])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[12])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[12])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[12])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[12])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[12])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[13])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[13])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[13])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[13])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[13])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[14])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[14])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[14])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[14])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[14])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[15])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[15])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[15])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[15])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[15])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[16])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[16])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[16])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[16])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[16])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[17])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[17])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[17])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[17])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[17])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[18])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[18])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[18])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[18])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[18])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[19])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[19])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[19])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[19])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[19])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[20])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[20])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[20])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[20])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[20])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[21])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[21])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[21])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[21])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[21])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[22])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[22])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[22])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[22])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[22])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[23])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[23])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[23])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[23])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[23])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[24])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[24])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[24])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[24])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[24])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[25])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[25])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[25])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[25])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[25])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[26])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[26])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[26])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[26])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[26])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[27])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[27])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[27])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[27])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[27])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[28])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[28])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[28])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[28])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[28])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[29])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[29])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[29])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[29])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[29])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[30])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[30])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[30])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[30])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[30])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[31])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[31])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[31])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[31])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[31])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[32])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[32])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[32])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[32])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[32])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[33])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[33])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[33])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[33])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[33])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[34])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[34])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[34])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[34])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[34])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[35])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[35])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[35])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[35])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[35])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[36])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[36])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[36])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[36])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[36])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[37])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[37])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[37])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[37])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[37])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[38])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[38])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[38])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[38])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[38])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[39])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[39])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[39])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[39])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[39])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[40])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[40])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[40])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[40])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[40])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[41])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[41])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[41])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[41])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[41])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[42])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[42])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[42])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[42])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[42])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[43])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[43])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[43])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[43])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[43])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[44])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[44])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[44])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[44])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[44])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[45])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[45])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[45])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[45])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[45])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[46])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[46])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[46])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[46])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[46])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[47])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[47])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[47])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[47])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[47])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[48])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[48])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[48])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[48])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[48])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[49])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[49])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[49])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[49])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[49])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[50])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[50])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[50])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[50])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[50])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[51])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[51])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[51])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[51])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[51])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[52])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[52])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[52])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[52])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[52])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[53])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[53])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[53])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[53])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[53])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[54])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[54])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[54])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[54])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[54])	0.00	0.00	0.00
Relief (a vs eqn[55])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[55])	0.00	0.00	0.00	Relief (a vs eqn[55])	0.00	0.00	0.00	Relief (a							

***, **, and * indicate significance levels of 1%, 5%, and 10%, respectively.

b, c "OLS", "Fixed" and "Random" indicate ordinary least squares estimation, fixed-effect estimation and random-effect estimation, respectively.

1 "Constant" in the fixed-effect estimation is given for each country.

e.g. "I, Prob > I", "Breusch-Pagan, Prob > χ^2_{11} " and "Hausman, Prob > χ^2_{11} " show the results of F test, Breusch-Pagan test and Hausman test, respectively.

The difference of the covariance matrices was not positive definite in the Hausman test. Since the similarity of the covariance matrices is what is causing this result, we conclude that the random-effect estimation is not rejected in this case. See Greene (2008, p. 209)¹⁴ for further discussions on this point.

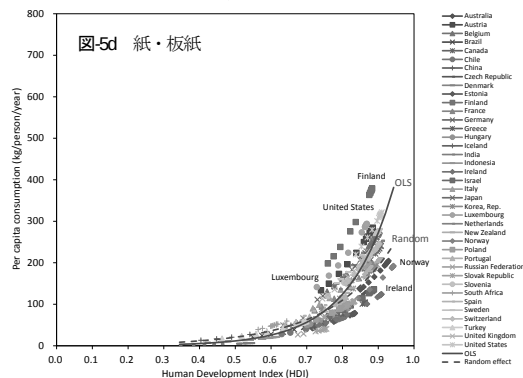
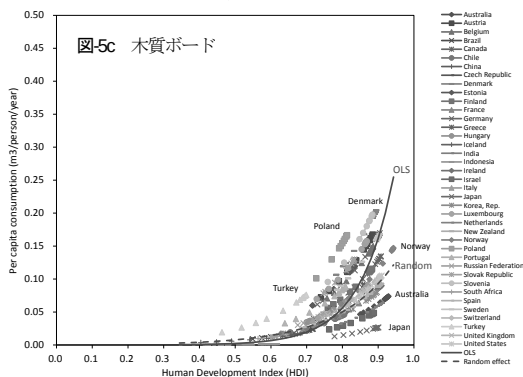
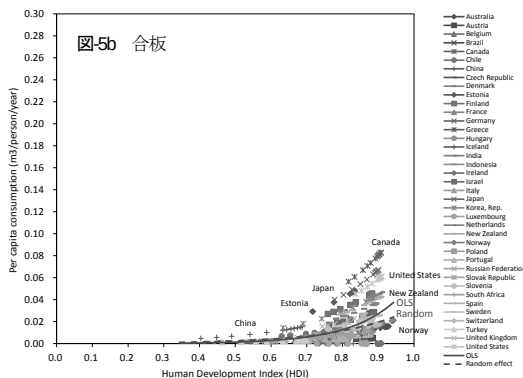
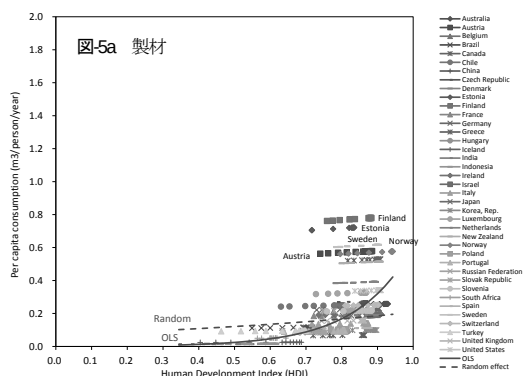


図5 HDIに対する1人当たり消費量の回帰モデル

(注: 国ごとの曲線は固定効果推定, 実線はOLS推定, 点線はランダム効果推定)

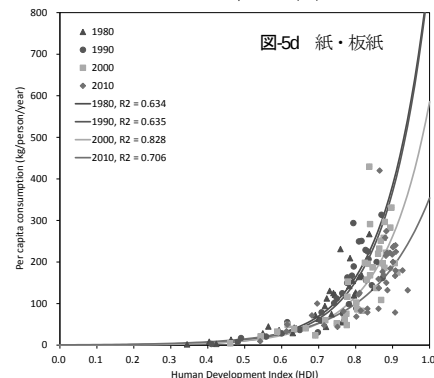
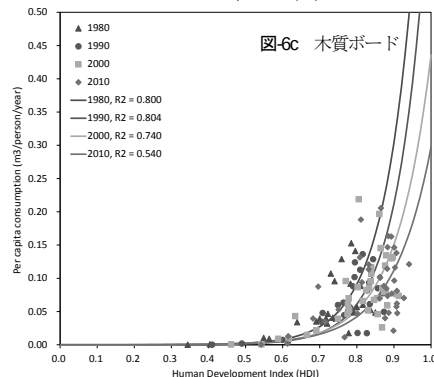
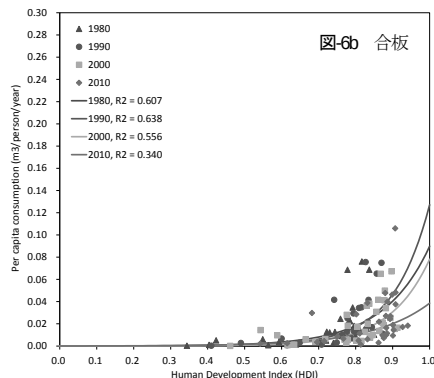
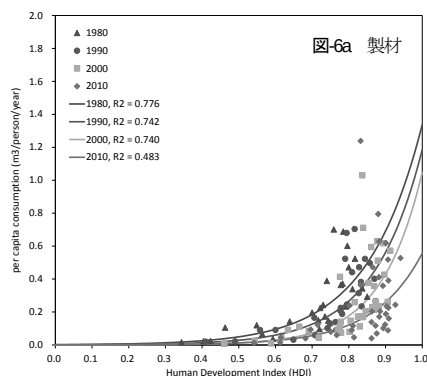


図6 HDIに対する1人当たり消費量の時間変化

(注: 点は40カ国における10年ごとの実績値, 実線は10年ごとの回帰曲線)

例えば、HDIが0.8の時の1人当たり製材、合板、木質ボード、紙・板紙消費量は、1980年には、0.357, 0.018, 0.091 m³/person/year, 164 kg/prson/yearであったが、2010年には、0.121, 0.010, 0.042 m³/person/year, 100 kg/person/yearとなり、過去30年間で減少していることが確認された。この要因のひとつとして、技術革新等によって木材資源の利用効率が向上している可能性が考えられる。この現象は今後も継続すると予想され、HDIと1人当たり木材消費量は、対数曲線や二次曲線等の飽和あるいは減少傾向を示す関係へと今後変化していく可能性がある。また、将来のHDIの上昇が見込まれる発展途上国では、現在の先進国が通ってきた道すじよりも1人当たり木材消費量が小さい状況でHDIが向上する可能性が示唆される。ただし、この減少傾向の背景には、木材資源と代替関係にあるセメント、金属、プラスチック等の他の資源・製品の消費量が増加している状況があり得る。例えば、地球温暖化緩和の観点からは、木材利用の抑制ではなく拡大を図り、他の資源と代替する方がCO₂排出削減効果を発揮することができる¹⁾。そのため、社会経済発展に対して木材消費量が飽和・減少に向かうことが一概に良いとはいえない側面がある。今後は、代替関係にある他の資源との関連性も考慮して検討していく必要があるだろう。

4. まとめ

本研究では、社会経済発展と木材消費との関連性を明らかにするために、世界40カ国における32年間を対象として、経済指標(1人当たりGDP)や人間開発指標(HDI)と1人当たり木材消費量のパネルデータ分析を行った。得られた主な知見を以下に示す。

- ・1人当たりGDPと1人当たり消費量との関係において、製材、合板、木質ボードでは、指数曲線モデルが最も説明力が高く、経済水準が高くなるほど、その上昇に対する1人当たり消費量の増加率は大きくなる傾向がある。一方、紙・板紙では、逆U字曲線(二次曲線モデル)で表されるEKCが存在する可能性が確認され、経済発展に伴う1人当たり消費量の飽和・減少傾向が示唆された。

- ・経済指標を用いた木材需要量の将来推定に向けて、製材と合板の消費量は、各国における経済水準以外の因子の存在が大きく、その固有特性を考慮した推定方法(固定効果推定)の方が推定精度が高いだろう。一方、木質ボードと紙・板紙の消費量は、各国において経済水準では説明できない固有特性はあまり小さくなく、経済発展に伴う各国共通の消費傾向があると考えられる。

- ・HDIと1人当たり木材消費量との関係において、製材、合板、木質ボード、紙・板紙のいずれの用途も、指数曲線モデルの説明力が最も高い。ただし、HDIが十分高い(例えば0.8以上)状況では、両者の関係は不明瞭になる。

また、過去30年間で、同レベルのHDIに到達する際の消費量は明らかに減少しており、今後もこの傾向が進行すると予想され、将来的に両者の関係は飽和・減少に向かう可能性がある。

- ・木質燃料は、1人当たりGDPとHDIのどちらの指標も1人当たり消費量との関連性が非常に小さく、これらの指標以外の他の因子が影響している可能性が高い。

今後の課題として、HDIが十分高い国・期間における木材消費との関係を詳細に分析する必要がある。また、本研究では、木材消費との関連性において、GDPやHDIといった社会経済発展指標を検討したが、今後は、産業構造、森林資源、環境意識、代替材の消費状況といった他の因子も対象とした包括的な分析も重要と考える。

謝辞：本研究は環境省環境研究総合推進費S-64「経済発展に伴う資源消費増大に起因する温室効果ガス排出の抑制に関する研究」および農林水産技術会議委託プロジェクト研究「森林及び林業分野における温暖化緩和技術の開発」の支援により行われました。

参考文献

- 1) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): IPCC Fourth Assessment Report, Climate Change 2007 (AR4), 2007.
- 2) IEA (International Energy Agency): Tracking Industrial Energy Efficiency and CO₂ Emissions, 2007.
- 3) Panayotou, T.: Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development, Working Paper WP238, Technology and Employment Programme, ILO, Geneva, 1993.
- 4) Cole, M. A., Rayner, A. J. and Bates, J. M.: The environmental Kuznets curve: An empirical analysis, *Environment and Development Economics* 2(4), pp.401-416, 1997.
- 5) Galeotti, M., Lanza, A. and Pauli, F.: Reassessing the environmental Kuznets curve for CO₂ emissions: A robustness exercise, *Ecological Economics* 57, pp.152-163, 2006.
- 6) Koop G. and Tole L.: Is there an environmental Kuznets curve for deforestation?, *Journal of Development Economics* 58, pp.231-244, 1999.
- 7) Canas, Â., Ferrão, P. and Conceição, P.: A new environmental Kuznets curve? Relationship between direct material input and income per capita: evidence from industrialised countries, *Ecological Economics* 46, pp.217-229, 2003.
- 8) Bringezu, S., Schütz, H., Steger, S., Baudisch, J.: International comparison of resource use and its relation to economic growth, The development of total material requirement, direct material inputs and hidden flows and the structure of TMR. *Ecological Economics* 51, pp.97-124, 2004.
- 9) Binder, C. R., Graedel, T. E. and Reck, B.: Explanatory variables for per capita stocks and flows of copper and zinc, A comparative statistical analysis, *Journal of Industrial Ecology* 10(1-2), pp.111-132, 2006.
- 10) Mao, J. and Graedel, T. E.: Lead in-use stock, A dynamic analysis, *Journal of Industrial Ecology* 13(1), pp.112-126,

- 2009.
- 11)Chas-Amil, M. L. and Buongiorno, J.: The demand for paper and paperboard, economic models for European Union, *Applied Economics* 32, pp.987-999, 2000.
 - 12)Simangunsong, B.C.H., Buongiorno, J.: International demand equations for forest products: a comparison of methods, *Scandinavian Journal of Forest Research* 16, pp.155-172, 2001.
 - 13)Tachibana, S., Oka, H. and Tamura, K.: Panel data analysis on international demand for forest products, The role of forests for coming generations, Philosophy and Technology for Forest Resource Management, pp.71-81, Japan Society of Forest Planning Press, Tokyo, 2005.
 - 14)Michinaka, T., Tachibana, S., Turner, J.A.: Estimating price and income elasticities of demand for forest products, Cluster analysis used as a tool in grouping, *Forest Policy and Economics* 13, pp.435-445, 2011.
 - 15)Min, K. and Oka, H.: Estimation of demand functions for forest products using international panel data, *Bulletin of FFPRI* 11(1), pp.1-11, 2012.
 - 16)Kayo C., Hashimoto S. and Moriguchi Y.: Paper and paperboard demand and associated carbon dioxide emissions in Asia through 2050, *Journal of Industrial Ecology* 16(4), pp.529-540, 2012.
 - 17)UNDP(United Nations Development Programme): Human Development Report (HDR) 2011, 2011.
 - 18)Dias, R. A., Mattos, C. R. and Balestieri, J. A. P.: The limits of human development and the use of energy and natural resources, *Energy Policy* 34, pp.1026-1031, 2006.
 - 19)Steinberger, J. K. and Roberts, J. T.:From constraint to sufficiency: The decoupling of energy and carbon from human needs, 1975-2005, *Ecological Economics* 70, pp.425-433, 2010.
 - 20)北村行伸: パネルデータ分析, 一橋大学経済研究叢書 53, 岩波書店, 2005.
 - 21)FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations): FAOSTAT, 2012. (Accessed 1 October 2012)
 - 22)World Bank: World DataBank, World Development Indicators and Global Development Finance, 2012.
 - 23)UNDP: International Human Development Indicators, 2012.
 - 24)Greene, W. H.: Econometric Analysis, Sixth Edition, Pearson Education, Inc., 2008.

(2013. 7. 19 受付)

THE RELATIONSHIP BETWEEN SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT AND WOOD RESOURCE CONSUMPTION

Chihiro KAYO, Seiji HASHIMOTO, Midori MIZUKAMI, Shigesada TAKAGI
and Hiroyasu OKA

In order to clarify the relationship between socio-economic development and wood resource consumption, we conducted panel data analyses for per capita wood consumption using per capita GDP or Human Development Index (HDI) for the 32-year period from 40 countries. For sawn wood, plywood and wood board, we showed that the exponential curve model for per capita consumption using per capita GDP resulted in significant regression coefficients and a higher adjusted R^2 values than for the other models. Using the Environmental Kuznets Curve (the inverted-U curve) model, we found significant regression coefficients for the relationship between per capita consumption for paper and paperboard and per capita GDP, indicating that the consumption for paper and paperboard becomes saturated with economic development. The consumption of wood fuel could not be simply explained by the level of GDP or HDI.