

# 木材の輸入に伴う仮想水（バーチャルウォーター）の算定

誌名	水利科学
ISSN	00394858
著者名	渡邊, 悟 沖, 大幹 太田, 猛彦
発行元	水利科学研究所
巻/号	53巻5号
掲載ページ	p. 119-132
発行年月	2009年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



# 木材の輸入に伴う仮想水（バーチャルウォーター）の算定

渡 邊 悟  
沖 大 幹  
太 田 猛 彦

---

## 目 次

1. はじめに
2. 農産物のバーチャルウォーターの算定
3. 木材輸入に伴うバーチャルウォーター
4. 我が国の木材需給
5. 森林の水消費原単位置
6. バーチャルウォーター輸入量の算定結果
7. まとめ
8. おわりに

### 1. はじめに

地球表面にある水の97.5%は塩水で、2.5%が淡水である。しかしこの大半が地下水や北極や南極に氷河・氷床として存在し、私たちが身近に使える川や湖の水は全体のわずか0.01%である。

UNESCO が発表した『World Water Resources at the Beginning of the 21st Century, 2003』によると、1995年（平成7年）における世界の水使用量は約3,750km<sup>3</sup>/年となっている。また、水使用量の伸びをみると、1995年（平成7年）の水使用量は1950年（昭和25年）の約2.74倍となっており、同期間における人口の伸び約2.25倍より高くなっている。特に生活用水の使用量の伸びは約6.76倍と急増していると報告されている。このような中で、様々な水に関する問題を解決するため、2009年3月には、第5回世界水フォーラムがトルコにおいて開催されたところである。

我が国は世界有数の木材輸入国であることから、このような水に関する問題の一環として、木材輸入との関連について理解を深めるため、先に報告されている農産物に関する仮想水（バーチャルウォーター）（以下「バーチャルウォーター」という。）の研究事例を参考として、木材輸入に伴うバーチャルウォーターを算定したので報告する。

## 2. 農産物のバーチャルウォーターの算定

「木材の輸入に伴うバーチャルウォーターの算定」を進めるに当たって、農産物についての「バーチャルウォーター」の定義を調べてみると次のとおりである。

「バーチャルウォーター」という用語は、現在、微妙な部分で世界的な混乱が生じている。すなわち、農産物について定義の一つは、「消費国において、もし輸入している食料を生産するとしたら必要となる水資源の量」であり、もう一つは、「輸出国において食料生産に用いられた水資源の量」である。

Allan 教授が当初用いていた Virtual Water Trade（以下 VWT と略す）は、主に乾燥地、半乾燥地において、水資源を大量に必要とする穀物の輸入がその地域の水不足の緩和にどの程度貢献するかを説明するために考え出された概念である。

一方、UNESCO-IHE（オランダ）の Arjen Hoekstra 等のグループは、「（輸出国で）生産にどれだけの水が用いられたか」を基準とし、それに輸出力を掛け合わせて世界の VWT 量を算定している。

Oki et al. (2003) は、そうした2つのバーチャルウォーターについて、前者を Virtually Required Water (VRW)、後者を Really Required Water (RRW) と呼んで区別しようと提唱しているが、後者の方が概念としてはわかりやすいため、必ずしも元々の概念である前者が十分に理解されているとはいえない。

また、農産物のバーチャルウォーターの算定結果についても、当初のものとは現在のものでは算定がより精緻になって変わってきている。日本への食料輸入に伴う VWT の最初の算定では、「農畜産物に工業製品分を併せて年間1,000億 m<sup>3</sup>以上の VW を輸入している」という結果になっていた（三宅，2002）。

その後、2003年3月の第3回水フォーラムへ向けて、見直した結果、主要な

農畜産物に関して年間627億 m<sup>3</sup>と下方修正された（佐藤，2003）。

このようなわけで，バーチャルウォーターの算定は，その定義の仕方と，どのようなデータを，どこまで精緻に使用し，どれだけの品目に関して推計するかにより大きく変わってくる。

### 3. 木材輸入に伴うバーチャルウォーター

本研究では，バーチャルウォーターについて，「木材輸入に伴うバーチャルウォーターは，木材の輸出国においてその生産に必要な水」と定義した。

なお，木材の輸入に伴うバーチャルウォーターの算定に当たって，後述のとおり，森林水文データ及び森林の成長量データを使用したが生産するデータの精度は，かならずしも十分ではない。そのため，バーチャルウォーターの算定結果は3桁で示しているが，有効数字は1桁程度と思われる。

### 4. 我が国の木材需給

戦後著しく増大した木材需要（供給）量は，図1のとおり，昭和48年には1

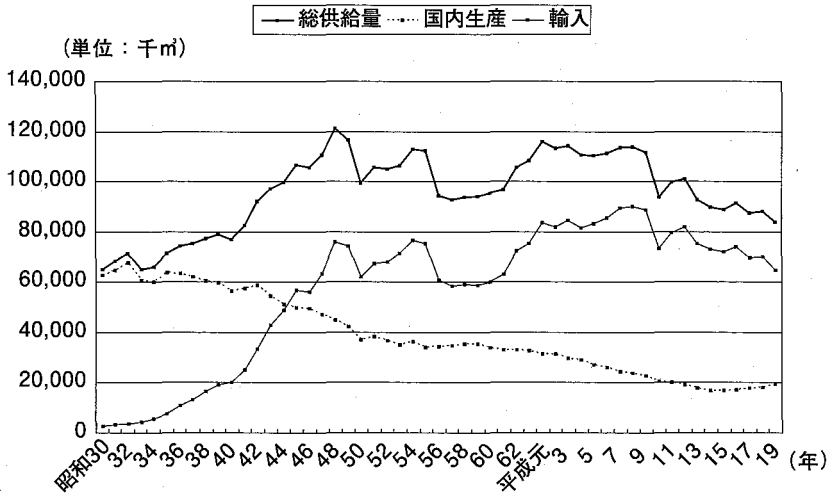


図1 我が国の木材供給の推移 (資料：林野庁)

表1 平成19年丸太、製品別木材輸入量（丸太換算値、単位（千 m<sup>3</sup>））

区 分	平成19年	平成18年	備 考	
総 合 計	64,565	70,005		
合 計	63,735	69,174		
丸 太	10,548	12,152	丸太は、農林水産省「木材統計調査」及び経済産業省「生産動態調査」による。	
用 材 木 材 製 品	小 計	53,187	57,022	用材及び薪炭材は、財務省「貿易統計」による。なお、品目別には以下のHSコードに基づき集計されている。
	製 材 品	11,649	13,464	HSコード4407（針葉樹及び広葉樹製材品）
	木材パルプ	6,795	7,675	HSコード4701, 4702, 4703, 4704, 4705 （機械木材パルプ、各種化学木材パルプ）
	木材チップ	25,569	24,594	HSコード4401（チップ状及び木片状木材）
	合 板 等	6,033	8,537	HSコード4408, 4412（単板、合板及びブロックボード）
	その他	3,142	2,753	HSコード4406, 4409, 4410, 4412, 4413, 4418 （まくら木、溝付け等加工木材、パーティクルボード等、ブロックボード等、集成材、改良木材、窓枠・戸・敷居等木製建具、構造用集成材）
	構造用 集成材	1,071	1,343	HSコード4418（構造用集成材）
薪 炭 材	830	831	HSコード4401, 4402（薪材及び木炭〈やしがら炭を含まない〉）	

注：備考欄のHSコードとは、HS条約（商品の名称及び分類についての統一システムに関する国際条約：International Convention on the Harmonized Commodity Description and Coding system）に基づき国際的に統一された貿易統計上の分類番号である。輸出入に際しては、税関への申告に当たって、9桁の統計品目番号を使用することとされており、このうちの前6桁がHSコードである。HSコードは、輸出入同じ番号に統一されているが、7桁以降は我が国独自のものであり、輸出入で必ずしも同じではない。なお、例えば、HS4407である製材品の輸入統計は、55品目に細分して月毎の資料が示されている。

資料出典：木材輸入量については、林野庁企画課作成の平成19年度木材需給表の数値である。このうち、丸太は、農林水産省「木材統計調査」及び経済産業省「生産動態調査」による。丸太以外の形態で輸入された用材及び薪炭材については、財務省「貿易統計」に基づく数値に丸太換算率をそれぞれ掛けて算出されている。

億2,100万 m<sup>3</sup>まで増大した。その後平成9年までの間は、昭和56年から昭和61年を除き、おおよそ1億 m<sup>3</sup>以上で推移したが、平成10年以降はおおよそ1億 m<sup>3</sup>を割り込み、平成19年には、8,389万 m<sup>3</sup>となった。

平成19年の木材供給は、国内生産が1,933万 m<sup>3</sup>、輸入は、6,457万 m<sup>3</sup>と約8割を輸入材が占めている。

我が国の国産材自給率は、木材需要（供給）量の統計のある昭和30年には、94.5%であったが、その後大幅に減少し、平成12年には18.2%となり、その後はほぼ下げ止まり傾向にあった。

平成19年の自給率是对前年比2.3ポイント増の22.6%となり、3年連続の上昇となったものの、依然として自給率は低く、多くを輸入に依存している。

平成19年の丸太、製品の品目別木材輸入量は表1のとおりである。

## 5. 森林の水消費原単位量

### (1) 森林の水消費原単位量について

木材輸入のバーチャルウォーターを求める場合に、農産物のように成長又は飼育に必要な水の必要量を求めようとする、森林から伐採される樹木の成長期間は、農産物に比べて比較にならないほど長く、且つ、穀物又は畜産物のように明確な収穫期（成熟期）が無く伐採時期が個別の経営判断に委ねられている面が強いことから、その成長期間は大きな幅のあるものとならざるを得ない。したがって、農産物と同様の方法を採用すると、成長の1サイクル当りに必要な水の量は大きな幅のあるものとならざるを得ず、且つ、その妥当性にも疑問が生ずる。

そこで、単位面積当たりの1年間の成長量と対応する成長に必要な水量を求め、森林の立木材積1 m<sup>3</sup>当たりの成長に必要な水量（以下「水消費原単位量」という。）を算定した。

すなわち、森林の水消費原単位量は、

$$\text{ha 当たりの成長に必要な水の量 (m}^3/\text{年} \cdot \text{ha)} \div \text{ha 当たりの成長量 (m}^3/\text{年} \cdot \text{ha)} = \text{森林の水消費原単位量 (m}^3/\text{m}^3)$$

表2 森林の水消費原単位

樹種群	1年間の成長に必要な水の量 (mm/年)		ha 当たりの成長に必要な水の量 (m <sup>3</sup> /年・ha) (A)	ha 当たりの成長量 (m <sup>3</sup> /年・ha)		水消費原単位量 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) (C) (C=A ÷ B)	
	1年間の成長に必要な水の量 (mm/年)	参考としたデータ		ha 当たりの成長量 (m <sup>3</sup> /年) (B)	適用した成長量		
スギ	300	東京大学千葉演習林袋山沢試験地流域におけるスギ・ヒノキ林伐採前後の流出量の増加量	3,000	8.5	スギ	353	
ヒノキ	300	東京大学千葉演習林袋山沢試験地流域におけるスギ・ヒノキ林伐採前後の流出量の増加量	3,000	6.5	ヒノキ	462	
落葉広葉樹 (北米)	290	「森林の緑のダム機能 (水源涵養機能) とその強化に向けて」(社) 日本治山治水協会発行 著者蔵治光一郎	2,900	8.5	スギ	341	
天然常緑広葉樹 (ニュージーランド)	328	ニュージーランドのビッグフィッシュ試験流域における天然常緑樹林の伐採2箇所により312mm及び344mmの流出量の増加	3,280	8.5	スギ	386	
ラジアータパイン	250	ニュージーランドのグレンドフ試験流域のラジアータパイン植林による流出量減少250mm	2,500	8.5	スギ	294	
天然林 (ボルネオ島)	366	ボルネオ高サバ州コタキナバルのメンドロン試験流域の天然林を皆伐・焼き払いした2流域は3年間平均で、396mm、336mm 水流出量が増加	3,660	8.5	スギ	431	
シトカトウヒ	340	Law (1956)	3,400	5.5	エゾマツ (トウヒ属)	618	
ドイツトウヒ	320	森林蒸散量 (服部, 1993): 砂防学講座第2巻 土砂の生成・水の流出と森林の影響. 山海堂. 171~198, 1078	Tajchman (1972) Brechtel (1976) Calder (1977)	3,200	5.5	エゾマツ (トウヒ属)	582
オウシュウアカマツ	370		Rutter (1968) Brechtel (1976) Cash (1977) Lindroth (1985) ②	3,700	6.3	アカマツ	587
カシ (ブナ科)	320		Brechtel (1976) Institute Hydrology	3,200	4.4	ブナ	727
ブナ	340		Schnock (1971)	3,400	4.4	ブナ	773
ユーカリ	500	Vertessy, R. A, et al. (2001) Factors determining relations between stand age and catchment water balance in mountain ash forests. For. Ecol. Manag. 143: pp.13-26		5,000	8.5	スギ	588

により算定した。

## (2) 森林の成長に必要な水の量について

表2の1年間の森林の成長に必要な水の量の考え方としては、造林した時の年間流出量の減少量又は森林を伐採（原則として皆伐）した時の年間水流出量の増加量（造林前或は伐採後の低木及び草本から構成される植生（以下「下層植生」と呼ぶ）との流出量の差）をもって成長に必要な水とした。

これは、下層植生からの蒸発散を除いた森林内高木の蒸発散量である。下層植生からの蒸発散は森林内高木の存在の有無の如何に関わらず発生する（更には、森林でない草地でも発生する）ので森林内高木の成長に必要な水に含まないと考えた。

また、光合成に伴い葉の気孔から大気中に失われる蒸散の外に、高木が存在するかぎりには、葉面・幹等からの遮断蒸発も不可避であることから、これらは成長に必要な水の量とした。

木材のバーチャルウォーターを算定するには、輸出国において観測された輸入外材樹種の「成長に必要な水の量データ」が必要である。

しかしながら、森林からの流出量の変化や蒸発散量の観測、樹木の成長量の観測には長期間の年月、費用、労力等を必要とするため、森林からの流出量の変化や蒸発散量等を測定した研究報告はそれほど多くないことから、輸出国の主要な樹種群を類似の樹種の測定値により代替して算定することとした。

具体的な「1年間の成長に必要な水量」は、森林水文関係の研究報告にある各種データのグラフにおける造林した時の年間流出量の減少又は森林を伐採（原則として皆伐）した時の年間水流出量の増加から、森林の変化の影響によると考えられる値を $10\text{m}^3$ 単位で読み取り、「1年間の成長に必要な水量」欄の数値とした。

## (3) 森林のヘクタール当たり1年間の成長量

森林のヘクタール当たり1年間の成長量は、二つの方法により求めた。二つの方法を用いたのは、樹種ごとの成長量資料が十分に得られないためである。

第1の方法は、我が国の収穫予想表によるもので、我が国の平均的な成長と考えられる地域及び立地の伐採までの立木材積を林齢で除して、森林のヘクタール当たり1年間の成長量を求めた。



表3 国・地域別の水消費原単位 ( $m^3/m^3$ )

国・地域別の水消費原単位		備考	
		適用した表2の水消費原単位	地域からの主要輸入樹種
北米材	646	シトカトウヒ, ドイツトウヒ, 欧州アカマツの平均水消費原単位	モミ, トウヒ, 米ツガ, 米マツ (トガサワラ)
ロシア材	646	シトカトウヒ, ドイツトウヒ, 欧州アカマツの平均水消費原単位	カラマツ, 欧州アカマツ
東南アジア材	407	天然林 (ボルネオ島) の水消費原単位	フタバガキ科広葉樹, 天然林材
チリ材	278	ラジアータパインの水消費原単位	ラジアータパイン
ブラジル材	407	天然林 (ボルネオ島) の水消費原単位	天然林材
オーストラリア材	556	ユーカリの水消費原単位	ユーカリ
ニュージーランド材	278	ラジアータパインの水消費原単位	ラジアータパイン
中国材	343	落葉広葉樹 (北米) と常緑広葉樹 (ニュージーランド) の平均水消費原単位	落葉広葉樹及び常緑広葉樹
ヨーロッパ材	646	シトカトウヒ, ドイツトウヒ, 欧州アカマツの平均水消費原単位	ドイツトウヒ, 欧州アカマツ
アフリカ材	407	天然林 (ボルネオ島) の水消費原単位	天然林材
その他材	407	天然林 (ボルネオ島) の水消費原単位	天然林材

注：国・地域別輸入材の水消費原単位について、観測データがない場合は、同程度の緯度、類似の森林等によって代替した。

第2の方法は、森林の純生産量に幹の配分比を乗じて幹生産量（重量）を求め、気乾比重で除して、森林のヘクタール当たり1年間の成長量（材積）を求

めた。

#### (4) 国・地域別の水消費原単位量

国・地域別輸入材の樹種等は多様である。しかしながら、貿易統計には、樹種別区分はなく、また、樹種が判るものは少なく、形状などにより定義されている場合のほうが圧倒的に多い。このため、これまでの木材業界の知見から、国・地域別輸入材の主たる森林樹種群を求めた。この主たる森林樹種群を表2の樹種の水消費原単位量と関連付けた。なお、国・地域別輸入材の水消費原単位量について、表2に適する樹種がない場合は、同程度の緯度、類似の森林樹種等によって代替した。

表3の数値が国・地域別の水消費原単位量の数値であり、これらに国・地域別木材輸入量乗じて国・地域別に、輸入木材のバーチャルウォーターを算定した(図2のとおり)。

なお、国・地域からの輸入材に主たる樹種が2種類以上ある場合は、備考欄に説明しているように、それらの算術平均値とした。

## 6. バーチャルウォーター輸入量の算定結果

バーチャルウォーター輸入量は、次の式により算定した。

$$\text{国・地域別の輸入量 (立木材積換算値)} \times \text{国・地域別の森林の水消費原単位量}$$

国・地域別輸入量(立木材積換算値：林野庁が作成している丸太換算した木材需給表の輸入量の数値を0.7で割り戻した数値)に国・地域別の森林の水消費原単位量乗じて、国・地域別のバーチャルウォーターを算定した。

平成19年度の輸入木材のバーチャルウォーターは、我が国の木材輸入量全体で、471億 $\text{m}^3$ と算定された(図2)。

この量は、東大Okiグループにより明らかにされている農産物輸入のバーチャルウォーター627億 $\text{m}^3$ (工業製品13億 $\text{m}^3$ を含まない。)に近い量となった。

このように、木材の輸入を水資源の面から見ると、極めて多くのバーチャル

ウォーターを輸入していることとなるが、我が国は比較的降水量に恵まれており、国内の木材供給が少ない原因を森林の水利用と結びつけることは出来ない。国内の木材供給が少ないのは、森林資源の蓄積は増大しているにもかかわらず、本論の対象である外材輸入との関係で木材生産が停滞しているからである。

また、我が国は、急峻な山岳地域が多い島国であり、河川が海に到達するまで距離も短く、山岳地域に降った雨が一気に海まで流れ下ってしまう地形である。このような洪水等が如何に多くとも、それは利用することが出来ない水であり、既に知られているように、森林が成長するために水を消費するという事実はあるものの、水がゆっくり河川に流出する森林の水源かん養機能は重要である。

一方、同様の手法で、国産材供給のバーチャルウォーターを算定すると、133億  $m^3$  であり、したがって、平成19年の我が国の木材供給量のバーチャルウォーターは、両者を合計して604億  $m^3$  となる。

## 7. まとめ

図2のとおり、平成19年度の木材の輸入に伴うバーチャルウォーターは、我が国の木材輸入量合計で、471億  $m^3$  と算定された。木材の輸入に伴い、極めて多くのバーチャルウォーターを輸入していると見なされる。

この量は、東大 Oki グループにより明らかにされている農産物輸入のバーチャルウォーター627億  $m^3$  (工業製品13億  $m^3$  を含まない。) に近い量である。

但し、農産物の場合は、作物の光合成などに必要な蒸発散量の外に農地からの蒸発量を含むということで算定されているが、木材の輸入に伴うバーチャルウォーターは森林内の樹木からの光合成などに必要な蒸発散量について算定しており、森林内の丈の低い林床植生や林地からの蒸発散量は含まない算定であるという違いがある。

また、471億  $m^3$  という量は、我が国の、①水稻の生育等に必要の水田かんがい用水、②野菜・果樹等の生育等に必要の畑地かんがい用水、③牛、豚、鶏等の家畜飼育等に必要の畜産用水を合計した平成17年の農業用水使用量約549億  $m^3$ /年(取水量ベース)の量にもほぼ匹敵するものであることも明らかになった。

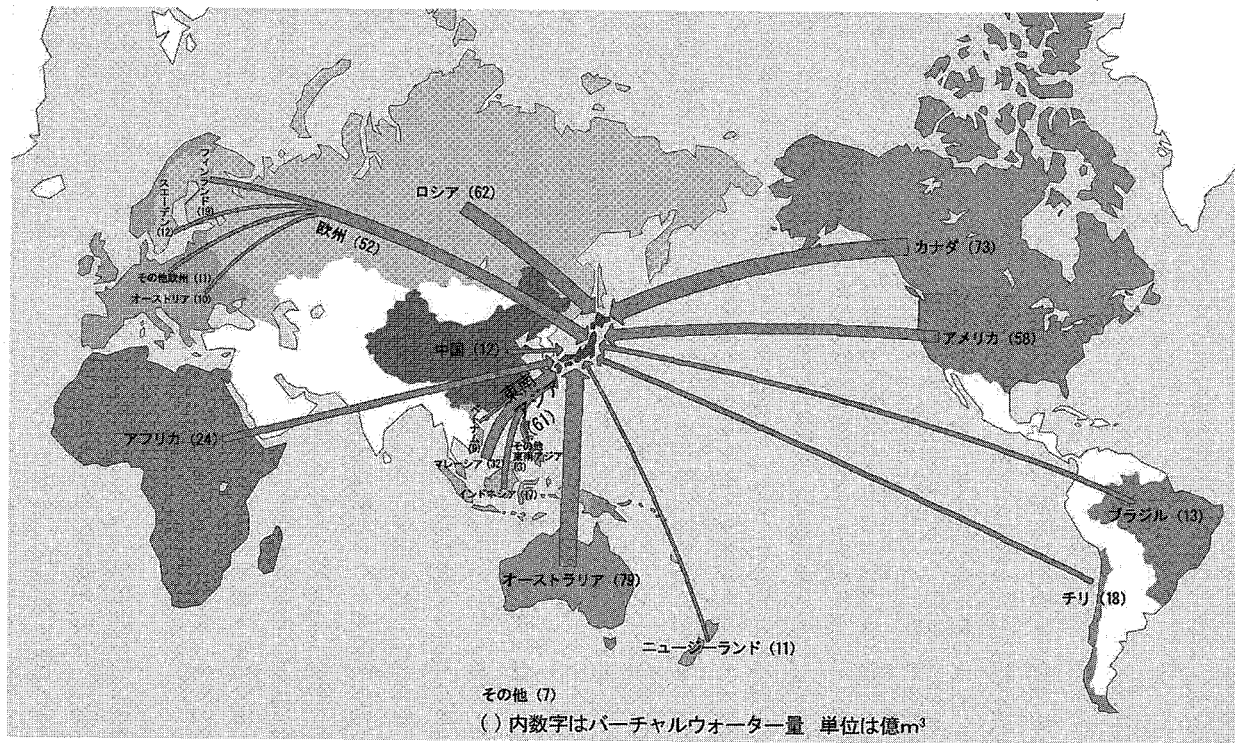


図2 国・地域別の木材のバーチャルウォーター（総輸入量 471億 m<sup>3</sup>/年）

## 8. おわりに

森林は、二酸化炭素の固定機能の面から地球温暖化防止への貢献をはじめ、木材の生産、山崩れ等の災害の防止、土壌流出の防止、保健休養など自然環境、生活環境の維持に貢献している。生態学的な観点から見た場合には、陸上生態系の基盤となる森林は、極めて多くの動植物からなる生態系から成り、森林内に生きる動植物の棲み処、食べ物等を提供している。また、森林の水源かん養機能は、既によく知られているとおり、降水を河川に流出させる前に、ある一定の時間、土壌・土層中に水を保持し、流出を時間的に遅らせるとともに、森林を通過する雨水の水質を改善或いは清澄なまま維持する。

森林の水源かん養機能は、文明社会が水を利用するために無くてはならない大きな働きをしており、特に、我が国のような急峻な山地の多い地形にあっては、人々に利用し易い水を提供することに大きく貢献している。

木材の輸入に伴うバーチャルウォーターの算定において、森林の成長に必要な水の量を示したことで、森林が水を消費するという事実が着目されることとなるが、このことは、森林水文学においては既に以前から証明されている事実である。また、森林は人類にとって、また、地球環境にとって重要な存在であることも論を俟たない事実であり、森林が水を消費するからといって、森林の重要性が色あせるものではない。

森林の水源かん養機能と木材生産とを両立させるような取り扱いが重要であり、森林のもつ国土保全、水源かん養機能、或いは環境保全機能などの総合的な機能を発揮させつつ持続可能な森林経営から生産された国産材の木材を使う方策を強化する必要がある。

我が国は、木材を大切に且つ有効に利用をすると共に、国内の森林資源を有効に使う生産・流通システムを構築し、国産材を安定して供給していくことが重要と考えられる。

最後に、本研究に当たって、適切なアドバイスを頂いた元東京農業大学教授河原輝彦、木構造振興株式会社専務取締役西村勝美、社団法人全国木材組合連合会常務理事藤原敬、林野庁の関係各位、さらに、本研究にご支援頂いた(社)全国木材組合連合会、(財)日本森林林業振興会、(社)日本治山治水協

会、(財)日本木材総合情報センター、(財)林業科学技術振興所及び(財)水利科学研究所並びに平成20年度「緑と水の森林基金」公募事業の研究助成金によりご援助頂いた(社)国土緑化推進機構に深く感謝致します。

## 参考文献

- Allan, J. A., 1996: Policy responses to the closure of water resources, In *Water Policy: Allocation and Management in Practice*, ed P. Howsam and R. Carter, London, Chapman and Hall.
- Chapagain, A. K., Hoekstra, A.Y., Savenije, H. H. G. and Gautam, R., 2006: The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries, *Ecological Economics.*, 60 (1), 186-203.
- Oki, T. and Kanae, S., 2004: Virtual water trade and world water resources, *Water Science & Technology*, 49 (7), 203-209.
- Oki, T., Sato, M., Kawamura, A., Miyake, M., Kanae, S., and Musiake, K., 2003: Virtual water trade to Japan and in the world, *Value of Water Research Report Series No. 12*, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands, 221-235.
- 沖大幹, 2008: バーチャルウォーター貿易, *水利科学*52, 304, 61-82.
- 岐阜県東白川村森林管理計画  
農林水産省「木材価格」資料  
林野庁「木材需給表」資料  
農林水産省「木材統計調査」資料  
経済産業省「生産動態調査」資料  
財務省「貿易統計」資料  
平成17年度, 平成18年度, 森林林業白書  
平成20年版日本の水資源 国土交通省 土地・水資源局水資源部  
UNESCO『World Water Resources at the Beginning of the 21st Century, 2003』  
国連食糧農業機関 (FAO) の「世界森林資源評価2005 (FRA: Global Forest Resources Assessment 2005)」  
平成19年2月「IPCC第4次評価報告書」  
「過疎地域等における集落の状況に関するアンケート調査」(調査基準2006年4月, 2007年1月中間報告)  
三宅基文, 2002: 日本を中心とした仮想水の輸出入, 東京大学工学部社会基盤工学科, 卒業論文.  
林野庁「森林資源現況調査」(2003)  
国土交通省「過疎地域等における集落の状況に関するアンケート調査」(2007年1月中

間報告)

蔵治光一郎, 2003, 森林の緑のダム機能(水源涵養機能)とその強化に向けて, (社)日本治山治水協会

服部重昭他, 1993, 土砂の生成・水の流出と森林の影響, 砂防学講座第2巻, 山海堂, 171~198.

佐藤未希, 2003, 食料生産に必要な水資源の推定, 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻, 修士論文.

沖大幹, 1995, グローバルな水循環, 水利科学39, 225, 1-35.

〔渡邊：社団法人日本治山治水協会〕  
〔太田：東京大学名誉教授〕  
〔沖：東京大学生産技術研究所教授〕

(原稿受付2009年4月13日, 原稿受理2009年8月5日)