

広島県の森林における主要樹種の地下部バイオマス量の推定

山場 淳史

山場淳史：広島県の森林における主要樹種の地下部バイオマス量の推定：23～30，2007.

広島県の森林における主要樹種であるヒノキ、コナラ、アカマツについて、立木の地下部バイオマス量を測定するとともに、地下部バイオマスを効率的に推定するために立木の地上部の属性との関係を解析した。その結果、R-S比は樹種によって差異が認められたが、地下部バイオマス量は地上部バイオマス量や胸高断面積などいずれの樹種においても高い相関関係があり、これらの属性から地下部バイオマス量を推定できるとみなされた。

[キーワード] 京都議定書，森林吸収，根系，ヒノキ，コナラ，アカマツ

1 はじめに

地球温暖化防止のための国際的な取り組みである京都議定書が、ロシアの批准により2005年2月16日に発効したことにより、日本は二酸化炭素などの温室効果ガスの排出量を1990年レベルから6%削減するとともに、そのうち3.9%を上限に森林吸収量を算入できることとなった(松本, 2005)。この算定手法については、IPCC (Inter governmental Panel on Climate Change ; 気候変動に関する政府間パネル) のLULUCF-GPG (Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry ; 土地利用, 土地利用変化および林業分野に関するグッド・プラクティス・ガイダンス) で、森林における炭素貯留量の変化量を地上部バイオマス, 地下部バイオマス, 枯死木, リター (堆積有機物) および土壌という五つのプールに分けて行われる (森貞, 2005) と定められている。

しかしながら、地下部のバイオマス量は、調査に多大な労力を要するため (刈住, 1987), 広島県内はもとより全国的にもデータが極めて少ない。一般に、樹木全体の重さに対する地下部の重さの割合は、およそ20%程度である (刈住, 1978) ことは知られているが、先に述べた森林吸収量の算定にあたっては、その手法が必要十分な科学的知見に基づくものである (山形・石井, 2002), すなわち測定が科学的であり、また第三者に説明可能であり、さらに第三者により検証可能でなければならないと定められている。このことから、測定が容易であり、データも豊富な地上部の属性やバイオマス量から地下部バイオマス量を推定する手法の開発が急がれている (山場, 2006)。

そこで、広島県の森林における主要な樹種であるヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*), コナラ (*Quercus serrata*) およびアカマツ (*Pinus densiflora*) について、地下部のバイオマス量を測定するとともに、地上部の立木の属性やバイオマス量との関係を解析した。

なお、本論文は、林野庁および独立行政法人森林総合研究所の森林吸収源計測・活用体制整備強化事業のデータの一部を用いた。

2 方法

2.1 調査地

調査は、森林総合研究所 (2007) の定めた方法に準じて、2004年度から2006年度にかけて、ヒノキ林2箇所、コナラ林2箇所、アカマツ林1箇所の林分を対象として行った (表1, 図1)。

なお、コナラ林およびアカマツ林については、それらの樹種が主体となる天然林であるため、他の樹種が混交した林分である。図2のとおり、コナラ林についてはその林分構造からもとアカマツ林であったものが松枯れに伴う植生遷移の進行により広葉樹林化したものであり、その進行程度は標高の低いプロットNo.1 (三次市和知町) の林分のほうが大きいと考えられる。また、アカマツ林については松枯れや亜高木・低木層の広葉樹類の成長が認められるものの、図3のとおり林分構造としてはアカマツが優占している。いずれにしても、これらの林分は広島県内の現在の里山林としての典型的な林分であるとみなされる。

表1 調査地の概要

林分	ヒノキ林		コナラ林		アカマツ林
プロットNo.	1	2	1	2	1
調査年度	2004	2004	2005	2005	2006
所在	三次市十日市町	庄原市濁川町	三次市和知町	庄原市東城町	東広島市志和町
緯度	N34 47,032	N34 55, 003	N34 48, 023	N34 58, 000	N34 29, 066
経度	E132 51, 019	E132 57, 038	E132 55, 058	E133 14, 037	E133 42, 521
標高	207	484	215	580	415
方位	E	SW	NE	NE	SE
傾斜	12	33	13	28	5
地質	第4紀層	流紋岩	礫岩・砂岩	花崗閃緑岩	風化花崗岩
土壌	Bld	Bld	Bd	Bd	Bb
樹齢	39	17	25~35	19~25	49~56
所有形態	技術センター内	会社有林	民有林	市有林	国有林

注) ここでの樹齢とは調査対象サンプル木の樹齢である。



図1 調査地位置図

2. 2 地上部測定方法

林内に20メートル四方の方形区プロットを設置し、毎木調査、すなわち胸高直径 (DBH) および樹高 (H) の測定を行った。毎木調査の結果から立木の胸高直径の頻度分布を参考に、優勢木1本、中庸木2本、劣勢木1本、計4本をサンプル木として選定した。

サンプル木は、後の地下部調査でワイヤーをかけるため、地上高約1.7m程度の高さで伐倒し、層別 (針葉樹は地上高0.2mから1mごと、広葉樹は3mごと) に玉切りながら、幹・枝・葉・枯枝 (葉) ごとに分別し、フォースゲージまたは台秤で生重量を測定した。なお、広葉樹については、最も長い幹を主幹とし、それ以外の幹は枝として取り扱った。

同時に、これらの各層・部位ごとにサンプル試料を採取して持ち帰り、生重量を測定後に乾燥機により105℃で数日間重量変化がなくなるまで乾燥させ、絶乾重として測定後、それらの含水率から各層および地上部全体の

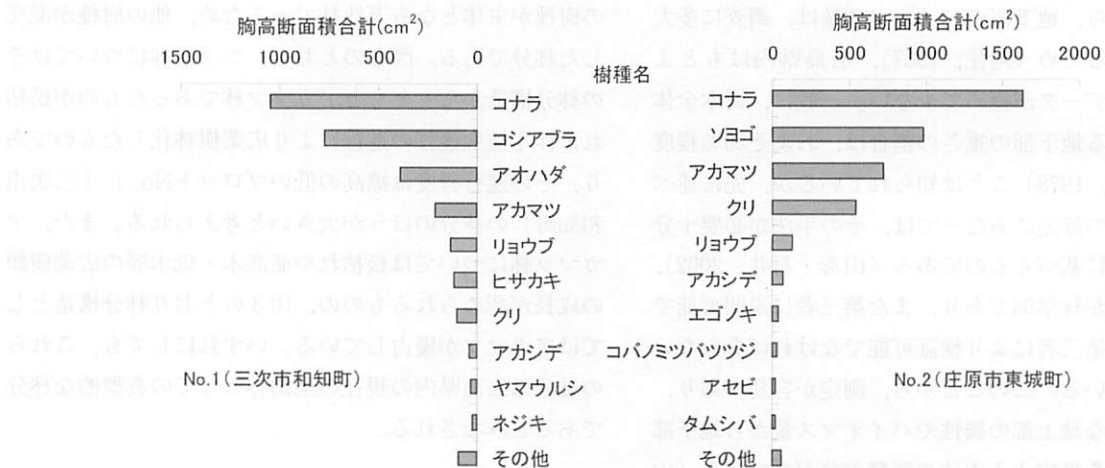


図2 調査コナラ林の林分構造 (100m²)

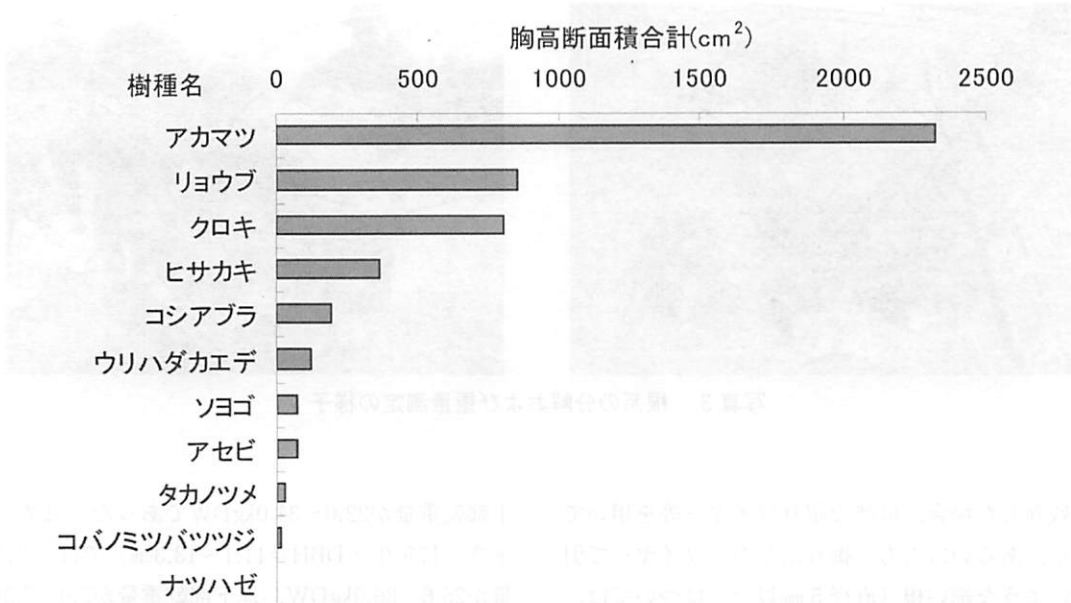


図3 調査アカマツ林の林分構造(100m²)

絶乾重を求めた。

2.3 地下部測定方法

伐採した立木の根系の周囲(およそ樹冠幅の範囲)を人力で掘り根を露出させたうえで(写真1), 残存して

いる幹部にワイヤーを固定し, 重機またはチルホールを用いて方向を適宜変えながら徐々に倒し, 引き抜いた(写真2)。

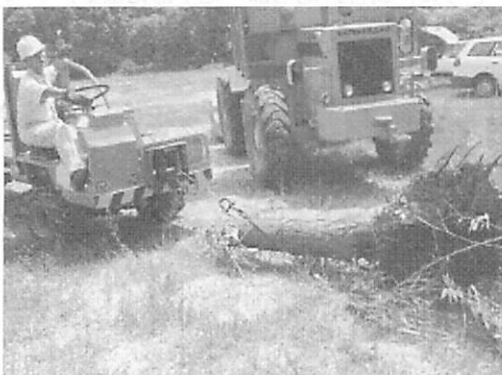
巨大根は必要に応じてチェーンソーや手鋸で切断し, 引抜荷重を軽減した。切断した根や引き抜く際に切断さ



写真1 手作業による根系の露出化の様子



写真2 重機またはチルホールによる根系の引き抜きの様子



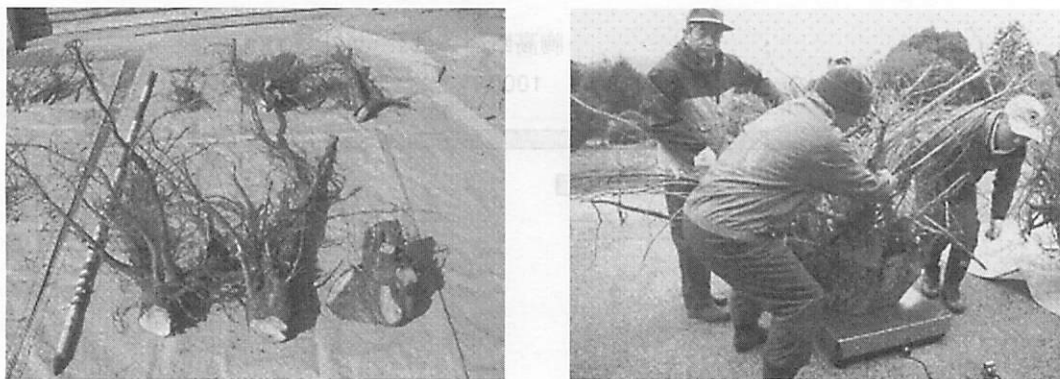


写真3 根系の分解および重量測定の様子

れた根が残存した場合、可能な限りワイヤー等を用いて引き抜くか、あるいは人力で掘り出した。ワイヤーで引き抜けないような細い根（直径5mm以上）については、切断した箇所を測定し、残存根として記録した。

掘り出した根は持ち帰り、センター内で洗浄し、必要に応じて各部位（根株および各直径階区分）に分解したうえで生重量を測定した（写真3）。最後に、各部位ごとに全体またはサンプルを乾燥機で地上部と同様に乾燥させ、地下部全体の絶乾重を求めた。

なお、残存根については、同一林分で根の直径と乾重の関係を求めるためのサンプルを用意し、その関係式（図4）をもとに残存根の直径から乾重を推定し、最終的に全体に加算した。

下部乾重量が22.0~34.0kgDWであった。また、プロット2（17年生：DBH=11.1~13.3cm）では、地上部乾重量が25.6~36.9kgDW、地下部乾重量が3.9~7.3kgDWであった。R-S比は平均で0.18であった。

コナラではプロット1（25~36年生：DBH=5.8cm~21.0cm）では、地上部乾重量が8.3~370.3kgDW、地下部乾重量が2.2~69.2kgDWであった。また、プロット2（19~25年生：DBH=8.3cm~34.1cm相当；表中の注を参照）では、地上部乾重量が23.3~468.9kgDW、地下部乾重量が6.2~118.6kgDWであった。R-S比は平均で0.25であった。

アカマツでは、プロット1（49~56年生：DBH=9.2cm~25.9cm）では、地上部乾重量が29.0~170.4kgDW、地下部乾重量が3.3~45.4kgDWであった。R-S比は平均で0.19であった。

樹種間の差異については、R-S比で比較すると、ヒノキやアカマツよりもコナラが特に高かった。このことから、広葉樹のほうが地下部バイオマスの比率が高いことが推察された。

3 結果および考察

3.1 地下部バイオマス量とR-S比

各調査地における各サンプル立木の属性、地上部・地下部の乾重量、およびR-S比（Root-Shoot ratio=地下部乾重量/地上部乾重量）を表2に示す。

ヒノキでは、プロット1（39年生：DBH=19.4cm~23.5cm）では、地上部乾重量が134.4~220.4kgDW、地

3.2 地上部と地下部の相関関係

さらに、属性、地上部・地下部乾重量、およびR-S比

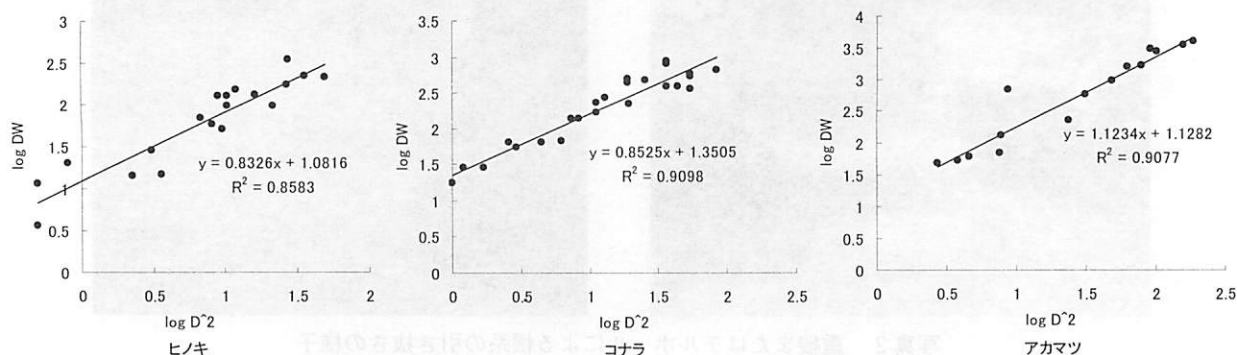


図4 残存根推定のための根直径 (log D²) と乾重量 (log DW) の関係

表2 サンプル木の属性、地上部・地下部乾重量, およびR-S比

樹種名	プロット No.	立木 No.	樹齢 (yr)	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	地上部乾重量					地下部乾重量 (kgDW)	R-S比
						合計 (kgDW)	幹 (kgDW)	枝 (kgDW)	葉 (kgDW)	枯枝葉 (kgDW)		
ヒノキ	1	1	39	23.5	18.9	220.4	164.3	23.2	22.2	10.6	34.0	0.15
		2	39	22.0	17.9	162.8	124.1	16.6	16.4	5.7	30.3	0.19
		3	39	20.5	16.8	154.1	114.9	18.9	14.3	6.0	22.0	0.14
		4	39	19.4	15.6	134.4	100.0	15.6	17.2	1.6	31.0	0.23
	2	1	17	13.3	10.2	36.9	24.1	5.7	6.8	0.3	7.3	0.20
		2	17	12.9	10.0	35.3	23.5	5.6	6.0	0.3	6.5	0.18
		3	17	12.5	10.8	35.3	23.2	5.9	6.0	0.2	5.7	0.16
		4	17	11.1	11.1	25.6	19.0	2.6	3.8	0.2	3.9	0.15
コナラ	1	1	36	21.0	18.0	370.3	263.3	91.1	14.6	1.3	69.2	0.19
		2	36	18.9	18.5	153.1	132.7	15.4	3.4	1.5	38.9	0.25
		3	36	10.5	10.7	36.7	28.7	5.9	1.5	0.6	9.5	0.26
		4	25	5.8	9.3	8.3	6.4	1.0	0.4	0.5	2.2	0.27
	2	1	25	<u>34.1</u>	<u>13.9</u>	468.9	343.3	100.3	16.6	8.5	118.6	0.25
		2	25	21.0	13.4	198.3	128.2	54.9	7.1	8.1	52.0	0.26
		3	25	15.0	11.6	82.9	56.7	18.6	2.7	4.9	18.1	0.22
		4	19	8.3	10.4	23.3	17.8	3.7	1.0	0.7	6.2	0.27
アカマツ	1	1	56	25.9	18.8	170.4	158.1	5.8	2.0	4.4	45.4	0.27
		2	53	18.6	18.1	100.2	91.4	3.1	2.4	3.4	19.2	0.19
		3	56	14.3	17.1	68.1	62.6	2.5	1.6	1.4	13.6	0.20
		4	49	9.2	14.1	29.0	26.2	1.2	1.0	0.6	3.3	0.11

注1) コナラのプロットNo.2 立木No.1 (下線箇所) は4株立木であるため、胸高直径および樹高を次のとおりとした。

胸高直径: $D=2\sqrt{\text{(各株立木の胸高断面積合計/円周率)}}$; 樹高: $H=\text{各株立木の平均樹高}$

注2) R-S比 (Root-Shoot比) = 地下部乾重量 / 地上部乾重量

の各項目間の相関関係を表3に示す。

全体としては、地下部乾重量と特に相関が高い ($p < 0.01$) のは地上部乾重量 ($r=0.969$), 幹乾重量 ($r=0.967$), 枝乾重量 ($r=0.906$), および胸高直径 ($r=0.878$) であった。また、R-S比については各項目との相関は認められなかった。

樹種別にみると、地下部乾重量と各項目との相関については、ヒノキでR-S比以外の項目間、コナラでは樹齢、

樹高およびR-S比を除く項目間、アカマツでは樹齢および樹高を除く各項目間で正の相関関係が認められた。また、アカマツではR-S比と胸高直径などの項目との相関がある傾向があった。

3.3 地下部乾重量推定のための関係式

地下部乾重量と胸高断面積または地上部乾重量との関係、ヒノキおよびコナラについては近似曲線および関係

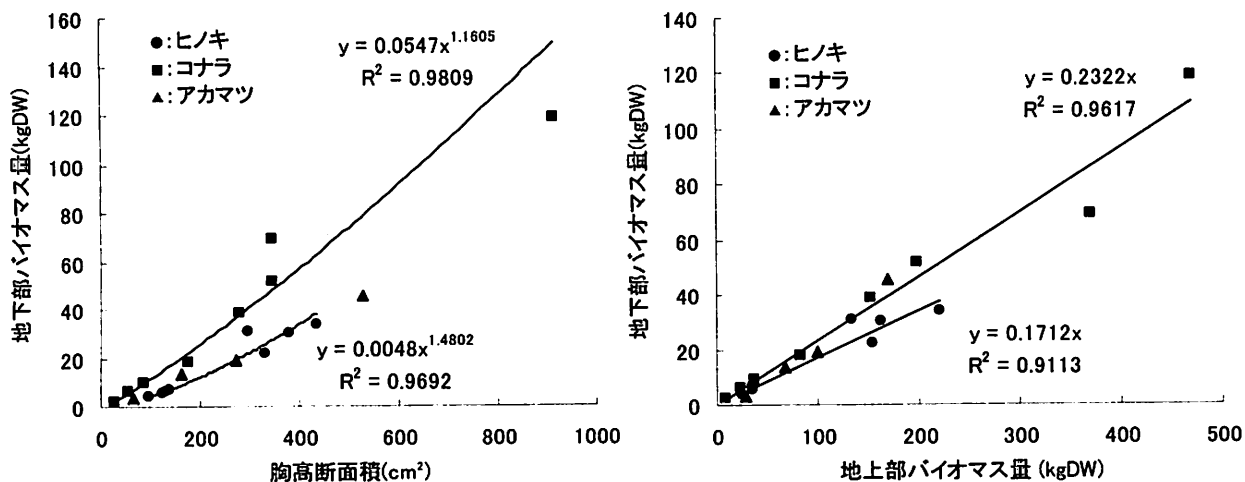


図5 地下部乾重量と胸高断面積または地上部乾重量との関係

表3 立木の属性、地上部・地下部乾重量、およびR-S比の相関関係

全体(n = 20)

	樹齢	胸高直径	樹高	地上部計	(幹)	(枝)	(葉)	(枯枝葉)	地下部	R-S比
樹齢	1									
胸高直径	0.290	1								
樹高	0.780	0.651	1							
地上部計	0.147	0.883	0.525	1						
(幹)	0.231	0.907	0.593	0.992	1					
(枝)	-0.111	0.679	0.230	0.922	0.875	1				
(葉)	-0.001	0.664	0.432	0.669	0.636	0.549	1			
(枯枝葉)	0.176	0.760	0.467	0.639	0.632	0.485	0.614	1		
地下部	0.101	0.878	0.428	0.969	0.967	0.906	0.542	0.602	1	
R-S比	-0.094	0.116	-0.147	0.137	0.153	0.163	-0.253	0.035	0.303	1

ヒノキ(n = 8)

	樹齢	胸高直径	樹高	地上部計	(幹)	(枝)	(葉)	(枯枝葉)	地下部	R-S比
樹齢	1									
胸高直径	0.963	1								
樹高	0.964	0.977	1							
地上部計	0.947	0.989	0.983	1						
(幹)	0.950	0.989	0.987	1.000	1					
(枝)	0.948	0.982	0.961	0.989	0.986	1				
(葉)	0.938	0.973	0.947	0.979	0.977	0.970	1			
(枯枝葉)	0.785	0.893	0.900	0.932	0.930	0.913	0.864	1		
地下部	0.963	0.967	0.949	0.956	0.958	0.939	0.983	0.795	1	
R-S比	0.083	0.016	-0.096	-0.070	-0.070	-0.070	0.107	-0.362	0.204	1

コナラ(n = 8)

	樹齢	胸高直径	樹高	地上部計	(幹)	(枝)	(葉)	(枯枝葉)	地下部	R-S比
樹齢	1									
胸高直径	0.120	1								
樹高	0.621	0.593	1							
地上部計	0.189	0.935	0.633	1						
(幹)	0.221	0.938	0.663	0.996	1					
(枝)	0.124	0.882	0.548	0.976	0.955	1				
(葉)	0.168	0.886	0.573	0.989	0.976	0.992	1			
(枯枝葉)	-0.349	0.760	0.096	0.582	0.550	0.607	0.548	1		
地下部	0.105	0.973	0.567	0.981	0.980	0.941	0.953	0.681	1	
R-S比	-0.403	-0.275	-0.528	-0.451	-0.436	-0.499	-0.501	0.032	-0.291	1

アカマツ(n = 4)

	樹齢	胸高直径	樹高	地上部計	(幹)	(枝)	(葉)	(枯枝葉)	地下部	R-S比
樹齢	1									
胸高直径	0.708	1								
樹高	0.837	0.914	1							
地上部計	0.698	0.998	0.888	1						
(幹)	0.699	0.997	0.885	1.000	1					
(枝)	0.714	0.985	0.855	0.994	0.995	1				
(葉)	0.594	0.788	0.920	0.745	0.738	0.674	1			
(枯枝葉)	0.587	0.974	0.904	0.962	0.959	0.927	0.867	1		
地下部	0.690	0.979	0.831	0.990	0.992	0.999	0.645	0.918	1	
R-S比	0.898	0.943	0.929	0.942	0.942	0.948	0.718	0.860	0.936	1

注) 網掛けは $p < 0.01$ で有意な相関であることを示す。

式を適用したものを図5に示す。

地下部乾重量と胸高断面積との関係では、累乗近似で最も決定係数が大きくなり、ヒノキおよびコナラ両樹種で0.9を上回った。なお、ヒノキでは家原(2004)のデータを加えて地下部乾重量と胸高直径の関係を同様に解析してもこのような傾向は認められた(山場, 2005)。このことは、刈住(1987)によれば、樹木の生長過程において蓄積部分の生長が相対的に大きくなることと関係すると解釈される。また、広葉樹のコナラは、針葉樹のヒノキおよびアカマツと比較して同じ胸高断面積に対する地下部乾重量がより大きい傾向にあった。アカマツはデータが少ないが、ヒノキと類似した傾向にあった。

地下部乾重量と地上部乾重量との関係では、直線近似で最も決定係数が大きくなり、ヒノキおよびコナラ両樹種で0.9を上回ったが、地下部乾重量と胸高断面積との関係の決定係数よりどちらの樹種も小さくなった。コナラの回帰直線の傾きは、ヒノキよりも大きかった。またアカマツはコナラに比較的近い傾向にあった。

以上のことから、地上部の属性である胸高断面積(直径)やバイオマス量から地下部バイオマス量を精度高く推定することができると考えられた。

ただし、コナラの胸高直径が大きい個体では、地上部との関係にばらつきが認められた。これは胸高直径最大の個体が株立ちであり、胸高断面積合計から逆算したものを胸高直径として使用したことも影響していると考えられるが、現実に広葉樹では株立ち個体が多いことから地上部の属性との関係性はやや複雑であり、こうした個体の地下部推定のためには、別のパラメータを加えて補正するなどの改良が必要であると考えられる。

4 おわりに

広島県の森林における主要樹種であるヒノキ、コナラ、アカマツについて、地下部バイオマス量を測定するとともに、地下部バイオマスを効率的に推定するために地上部の属性との関係を解析した。その結果、地上部バイオマス量に対する地下部バイオマス量の割合を示すR-S比は樹種によって差異が認められたが、地下部バイオマス量は地上部バイオマス量や胸高断面積などと高い相関関係が認められた。さらに、ヒノキとコナラについては胸高直径や地上部バイオマス量から地下部バイオマス量を推定できることが分かった。

今後、R-S比や地上部からの推定式の精度向上のためには、さらにデータの蓄積が必要である。特に、広島県内の森林全体のバイオマス量を精度高く推定するために

は、人工林についてはスギ、広葉樹林については佐野(1991)により出現頻度が高いと想定されるクリやアベマキなどの高木性樹種とともに亜高木・低木層で比較的バイオマス量が多いと想定される樹種(例えばコシアブラ、リョウブ、ソヨゴ、ヒサカキなど)も含めて、地上部・地下部バイオマス量のデータを収集する必要があると考える。

ただし、冒頭でも述べたとおり、地下部バイオマス量の測定には多大な労力を要するため、当面は林野庁および森林総合研究所による全国レベルでのデータのとりまとめ結果も活用し、広島県の森林における地下部バイオマス量を推定することもできると考える。

さらに、京都議定書以降の長期的な森林吸収源に対するニーズに応えるために、地上部、枯死木・リター、土壌の各炭素プールにおける貯留量や動態についても、地下部に先行して、あるいは同時並行的に調査が行われており、森林全体での炭素貯留・吸収機能評価や、森林施業の影響などについても継続的な研究が行われる必要がある。

謝 辞

本研究の実施に際し、調査手法やデータ解析に関しては、独立行政法人森林総合研究所の家原敏郎資源解析室長には有益な助言を多数いただきました。また、調査地の設定に関しては、アサヒビール株式会社庄原林業所の梶川光昭所長(当時)、三次市和田公民館の為貞勇三館長、東城町森林組合の坂部広和組合長、並滝こもれびの会の藤原忠治会長にご協力をいただきました。ここに記して感謝申し上げます。

引用文献

- 家原敏郎(2004)主要樹種バイオマス量データ収集調査。平成15年度森林吸収源計測・活用体制整備強化事業調査報告書(1)森林吸収源データ収集・森林吸収量算定手法の開発。62-89 森林総合研究所
- 刈住 昇(1978)根のはたらきと生長。全国林業改良普及協会。261 p
- 刈住 昇(1987)樹木根系図説。誠文堂新光社。1121 p
- 松本光朗(2005)京都議定書報告に向けた森林吸収量算定手法開発の取り組み。森林技術 754:3-9
- 森貞和仁(2005)森林土壌のCO₂吸収能。森林技術 754:10-15

- 佐野俊和 (1991) クラスタ分析による広葉樹林の類型化. 広島県林業試験場研究報告 25 : 27-100
- 森林総合研究所 (2007) 平成18年度森林吸収源計測・活用体制整備強化事業調査報告書 (1) 森林吸収源データ収集・森林吸収量算定手法の開発. 印刷中
- 山場淳史 (2005) 炭素吸収・貯留源としてのヒノキ林の地下部バイオマス量の測定. ひろしまの林業 652 : 8-9
- 山場淳史 (2006) 炭素吸収・貯留源としてのコナラ林の地下部バイオマス量の測定. ひろしまの林業 665 : 6-7
- 山形与志樹・石井敦 (2002) 吸収源に関する主要論点と交渉経緯. 高山ゆかり・亀山康子編, 京都議定書の国際制度. 信山社. 121-145

Estimation of underground biomass of major tree species in forests, Hiroshima prefecture

Atsushi Yamaba

Summary

Underground tree biomass of major tree species in Hiroshima prefecture such as *Chamaecyparis obtusa*, *Quercus serrata* and *Pinus densiflora* was measured and related to aboveground tree biomass for effective estimation. Though it was recognized that the root-shoot ratios were different between the species, the underground biomass of the respective species was strongly associated with the aboveground biomass or the basal area of each tree, therefore aboveground attributes of trees were considered available to estimate each underground tree biomass.

[Key words]

Kyoto Protocol, Forest absorption, Roots, *Chamaecyparis obtusa*, *Quercus serrata*, *Pinus densiflora*