

## 針葉樹 4 種, 広葉樹 5 種における立木の含水率の季節変動

前田あやの<sup>1,2</sup>・安江 恒<sup>3</sup>

<sup>1</sup>信州大学農学部

<sup>2</sup>現・大和物流株式会社

<sup>3</sup>信州大学山岳科学研究所

### 要 約

木材の熱利用のために必要な基礎的知見を得るため、信州大学農学部構内演習林に生育する針葉樹 4 樹種 [スギ (*Cryptomeria japonica*), ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*), カラマツ (*Larix kaempferi*), アカマツ (*Pinus densiflora*)], 広葉樹 5 樹種 [コナラ (*Quercus serrata*), クヌギ (*Quercus acutissima*), クリ (*Castanea crenata*), ハリエンジュ (*Robinia pseudoacacia*), カスミザクラ (*Prunus verecunda*)] の計 9 樹種を対象とし、立木の含水率の季節変動を観測した。1 樹種につき 3 個体を供試木とし、月に 1 回の頻度で成長錐を用いてコア試料を採取した。辺材と心材に分け含水率を測定した。スギ以外の 8 樹種の心材含水率の季節変動は認められなかった。スギの心材含水率の変動は大きかったが、心材内の含水率分布の不均一に起因すると推察された。スギ, ヒノキ, カラマツの辺材含水率には 10 月または 11 月から 12 月にかけて含水率の増加が認められた。広葉樹の辺材含水率には、大きな変動は認められなかった。

キーワード：含水率, 心材, 辺材, 針葉樹, 広葉樹

### 1. はじめに

間伐材の多くを占める低質材を燃料材として利用し、搬出量を増やすことにより伐採丸太全体の価値を上げることは、森林経営の安定や地域分散型エネルギー供給の拡大に必要不可欠である。特に、低質材の薪や木質ペレットとしての利用は地域内流通が可能で有り、大量生産でなくとも地域経済に貢献できる可能性があり、近年その生産、流通体制が整えられつつある<sup>1)</sup>。今後、薪ストーブ等の利用を普及し、地域内での燃料材流通を促進するためには、一般消費者に向けた適切な燃料材の性質や性能に関する情報を提供する事が大切である。

燃料材の着火性、燃焼性や発熱量に大きく影響する要素は含水率である。つまり、発生した燃焼熱の一部は木材に含まれる水の蒸発に費やされるためである<sup>2)</sup>。従って、薪ストーブ等での燃焼利用には乾燥過程が必要で有り、樹種ごとの生立木含水率や乾燥過程の把握が必要である。ユーザーの間には様々な伝承や体験に基づく知識が存在し、たとえば「夏には伐採断面から水が噴き出すので乾燥には時間がかかるはず」と言った話を耳にする。しかしながら、燃料材の含水率や乾燥に関する科学的知見は少ないのが現状である<sup>3,4)</sup>。

生立木の樹幹含水率の季節変動に関する報告として、同一林分内の異なる個体の伐採により得られた報告がある。池田・大森<sup>5)</sup>、池田・木野<sup>6)</sup>、池田<sup>7)</sup>は、スギを対象に同一林分内の異なる個体を順次伐採し、多数の個体に基づいて林分レベルでの辺材および心材含水率の季節変動がないことを確認している。一方、同一個体における含水率変化を捉えるため、中田<sup>8)</sup>はスギを対象に横打撃共振法を適用し、2 年間にわたり同一個体における水分量変化を非破壊的に測定し、水分量の季節変化が存在する可能性を指摘している。スギ以外の樹種に関する含水率の季節変化に関する報告はほとんどない。心材では辺材に比べて気体透過率が低い<sup>9)</sup>。したがって、薪材の乾燥特性を評価するにあたり、心材と辺材に分けて初期含水率を把握しておくことも重要である。しかしながら、生立木における含水率変化を心材と辺材に分けて把握した報告は例を見ない。

成長錐コア試料を樹幹より定期的に採取し、含水率を測定する方法はこれまで報告例はないが、同一供試木を対象として季節変動を把握でき、かつ辺材と心材に分けて測定することが可能となると考えられる。一方で、穿孔により傷害心材が形成され<sup>10)</sup>、辺材における含水率測定に影響を及ぼす恐れがある。成長錐による穿孔の影響に関する報告は少ないが、穿孔に伴う変色域の穿孔からの距離は、接線方向にヨーロッパナ (*Fagus sylvatica*) の場合に 1 cm

受付日 2017年1月6日

受理日 2017年1月27日

程度, 樹軸方向にヨーロッパブナの場合に20cm, ヨーロッパナラ (*Quercus robur*) の場合に70-100cm と報告されている<sup>11)</sup>。また, カラマツ, スギ, ヒノキ, コナラの穿孔部位の木口面断面を観察したところ, 変色域の穿孔からの距離は, 接線方向に最大で2cm程度であった(安江, 未発表)。従って, 穿孔間の距離を十分に確保して採取することで穿孔の影響を最小化できると考えられる。

そこで, 本研究では木材の熱利用のために必要な基礎的知見を得るため, 生立木の辺材および心材含水率の季節変動を観測した。試料採取方法として, 成長錐を用い, コアサンプルを約1ヶ月おきに採取し含水率を測定した。国内において薪材として主要な針葉樹4樹種(スギ, ヒノキ, カラマツ, アカマツ), 広葉樹5樹種(コナラ, クヌギ, ハリエンジュ, クリ, カスミザクラ)の計9樹種を対象樹種とした。

## 2. 方 法

信州大学農学部構内演習林に生育する針葉樹からアカマツ, カラマツ, ヒノキ, スギの4樹種, 広葉樹からコナラ, クヌギ, クリ, ハリエンジュ, カス

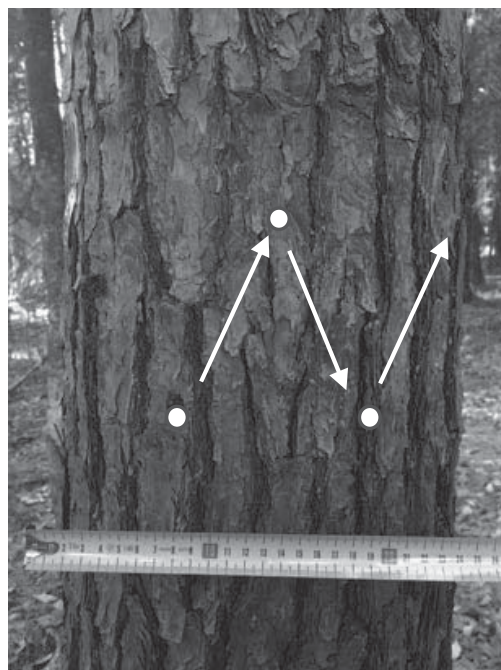


Fig. 1. Schematic diagram for core sampling point on a stem.

Every sampling point keeps adequate distance from the neighboring point more than 5 cm in tangential direction and more than 15 cm in vertical direction.

Table 1. Characteristics of sample trees.

Species	Tree No.	DBH (cm)	Sapwood percentage* (%)	Heartwood percentage* (%)
Sugi ( <i>Cryptomeria japonica</i> )	5	29.3	16.8	83.3
	2	31.3	24.5	75.5
	3	39.0	19.7	80.3
Hinoki ( <i>Campeyopsis obtusa</i> )	1	42.0	11.3	88.7
	2	33.9	10.5	89.5
	3	49.5	21.2	78.8
Karamatsu ( <i>Larix kaempferi</i> )	1	32.9	13.2	86.8
	2	31.4	25.6	74.4
	3	25.5	19.1	80.9
Akamatsu ( <i>Pinus densiflora</i> )	1	32.4	64.1	35.9
	2	31.2	46.0	54.0
	3	24.5	51.9	48.1
Konara ( <i>Quercus serrata</i> )	1	31.0	28.9	71.1
	2	32.0	38.7	61.3
	3	29.3	25.7	74.3
Kunugi ( <i>Quercus acutissima</i> )	1	36.7	27.6	72.4
	2	28.6	47.9	52.1
	3	24.6	39.3	60.7
Kuri ( <i>Castanea crenata</i> )	1	46.3	5.1	94.9
	2	40.6	4.4	95.5
	3	17.5	4.5	95.7
Harienju ( <i>Robinia pseudoacacia</i> )	1	20.8	17.3	82.7
	2	23.9	16.6	83.4
	3	22.4	25.1	74.9
Kasumizakura ( <i>Prunus verecunda</i> )	1	30.3	18.5	81.5
	2	24.3	13.7	86.3
	3	36.4	30.2	69.8

\* percentage of sapwood and heartwood are average for every cores for each tree.

ミザクラの 5 樹種, 計 9 樹種を選択し, 1 樹種につき 3 個体を供試木とした (Table 1)。2013年 3月11日から2013年12月30日の期間について約 1 ヶ月に 1 回の頻度で成長錐コア試料を採取した。採取位置は地上高約 1 ~ 1.3m とし, 傷害に伴う心材化の影響を避けるため前回の採取位置より接線方向に約 5 cm 以上, 樹軸方向に約 15cm 以上離して採取を行った (Fig. 1)。内径 5.15mm の成長錐 (ハグロフ社製) を用い, 樹心に達する程度の深さまで挿入し, コア試料を採取した。採取したコア試料は直ちにプラスチック製ストローに入れ両端を密閉した。スト

ローは直射日光に当たらないよう紙製筒に入れて運搬し, 2 時間以内に研究室に持ち帰った。コア試料をストローより取り出し, 樹皮を取り除き, 心材と辺材に分割した。この際, アカマツ以外の明瞭な心材の着色が認められる 8 樹種では着色部を心材, 白線帯を含む非着色部を辺材として取り扱った。心材色が明瞭でないアカマツでは明らかに含水率の高い部分を辺材, それより内側の白線帯から樹心までを心材として取り扱った。分割したコアはそれぞれ電子天秤 (島津製作所 AUW220D) を用いて 0.001g の精度にて生材重量を測定した。その後, 105°C に

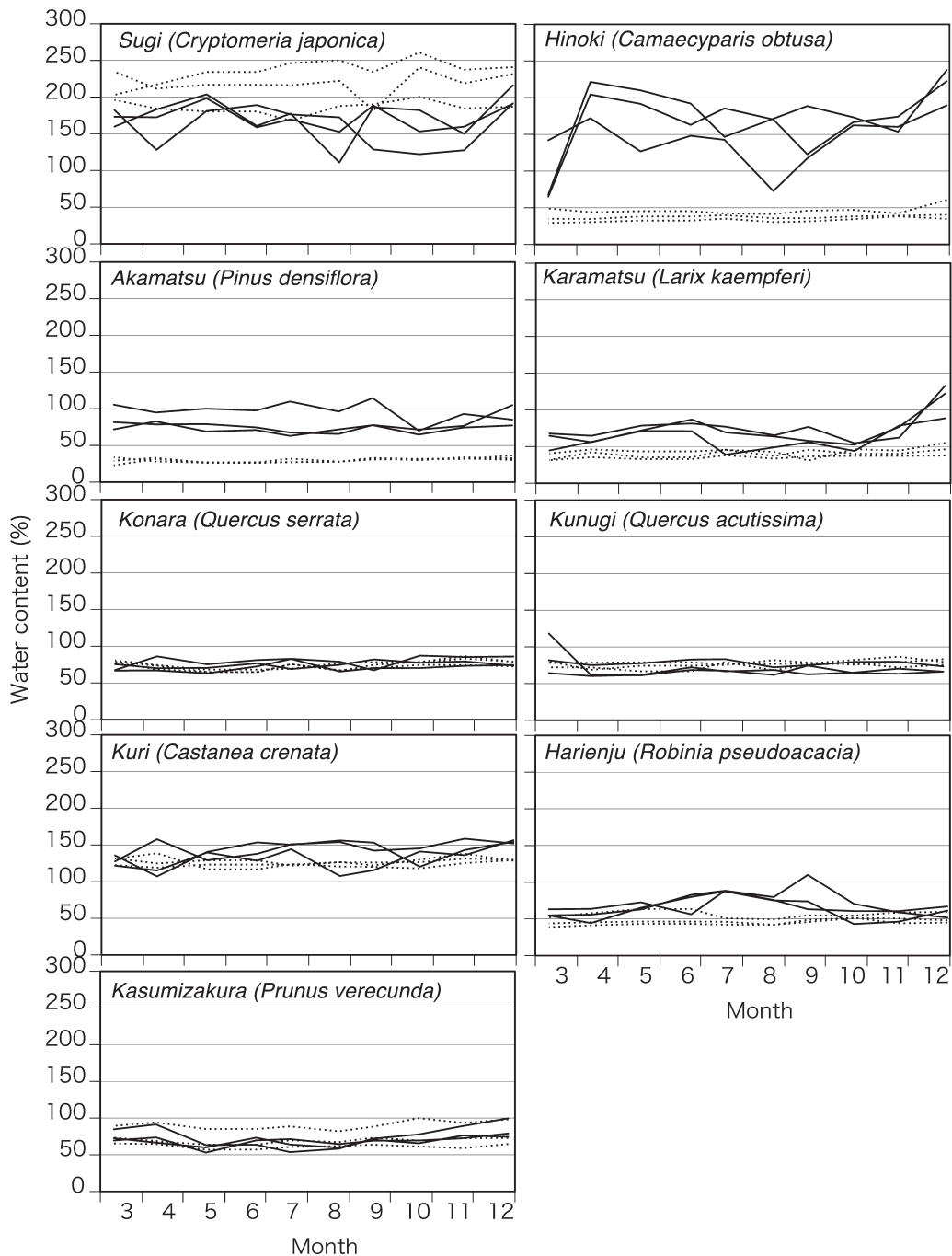


Fig. 2. Seasonal changes in water content of sapwood (lines) and heartwood (dotted lines) for 9 species.



て約12時間乾燥し、電子天秤を用いて全乾重量を測定した。

次式の乾量基準含水率の式 1 を用いて含水率 ( $U$ ) を算出した。

$$U (\%) = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100 \quad (\text{式1})$$

ここで、 $m$  は生材重量 (g)、 $m_0$  は乾燥後の全乾重量 (g) である。

### 3. 結 果

心材含水率の変動について、スギ以外の 8 樹種では実験期間中に大きな変動は認められなかった (Fig. 2)。また、スギ、クリ、カスミザクラを除く 5 樹種では心材含水率の大きな個体間差はなかった。クリ、カスミザクラではそれぞれ 1 個体のみ心材含水率が高かった。一方スギでは、個体間に大きな心材含水率の違いが認められると共に、測定時期によって心材含水率が大きく異なった。しかしながら、個体間に共通する季節変動は認められなかった。

針葉樹の辺材含水率の変動について、3月から4月にかけてヒノキでは全個体に共通して顕著な含水率の上昇が認められた。春から秋にかけて下降と上昇を含む変動が全ての樹種で認められたが、樹種内の個体間で同調する変動ではなかった。11月から12月にかけて、スギ、ヒノキでは顕著な含水率の上昇が認められ、全ての個体に共通していた。同様にカラマツでは10月から12月にかけて顕著な含水率の上昇が認められ、全ての個体に共通していた。アカマツでは、夏季の低下以外で個体間の変動の同調は認められなかった。

広葉樹の辺材含水率について、コナラ、クヌギ、クリでは実験期間を通して個体間に共通する含水率の変動は認められなかった。ハリエンジュでは夏期に若干の上昇を、カスミザクラでは夏期に若干の低下を示す傾向が認められた。

### 4. 考 察

スギを除く 8 樹種の心材において、季節変動が認められなかった事は、心材含水率は外的要因によらず一定であることを示唆する。心材では道管や仮道管が閉塞しているため、外部からの水の浸入経路がきわめて限られていることから、きわめて妥当な結果と言える。

一方、スギでは測定時期によって心材含水率の大きな変動が認められた。しかしながら、個体間に共通する変動は認められないため、外的な環境の変動

に伴う変動とは考えられない。スギの心材含水率はしばしば通常より高くなると共に、同一個体内においても部位によって含水率が大きく異なることが多数の個体の観察に基づき報告されている<sup>8, 12-14</sup>)。従って、本研究で認められたスギの心材含水率の変動は、もともと存在する心材内の部位別含水率の不均一に起因すると結論づけられる。

針葉樹の辺材含水率の季節変動について、春から秋にかけて下降と上昇を含む変動が全ての樹種で認められたが、相対的に小さな変動であったことや樹種内の個体間で同調する変動ではなかったことから、含水率分布の不均一や測定上の誤差に起因する変動と考えられる。一方、スギ、ヒノキ、カラマツにおいて10月または11月から12月にかけて顕著な含水率の上昇が認められた点は非常に興味深い。これらの変動は全ての個体に共通して認められたことから、含水率分布の不均一や測定上の異常値に起因するものではないと考えられる。測定時の辺材に白線帯を含めて測定した針葉樹 3 樹種に共通して認められたにもかかわらず、辺材含水率の測定に白線帯を含まないアカマツでは認められなかったことから、この含水率の変動には辺材から白線帯への移行等、何らかの形で白線帯が関係している可能性が示唆される。同様な現象はこれまで報告例がないが、似た現象として、中田<sup>8)</sup>は横打撃振動法によるスギの樹幹内水分量の季節変化を観測し、夏の終わりから秋にかけて小規模な共振周波数の上昇が2年続けて認められると共に、その原因を樹幹内の水分量の増加と結論づけている。本報告とは水分量の変化する時期が異なるため、同一の現象を捉えているかは不明であるが、いずれにせよ針葉樹の樹幹内では肥大成長の終了期から休眠期にかけて水分量の変化を引き起こすような現象が起きている可能性が示唆される。ヒノキで認められた春の含水率の上昇については、原因は不明である。これらの発生原因を明らかにするためには、心材、白線帯、辺材ごとに、休眠期から活動期への変化を観測することが必要である。

広葉樹の辺材含水率について、コナラ、クヌギ、クリでは実験期間を通して個体間に共通する含水率の変動は認められず、これらの樹種の辺材含水率はほぼ一定と言える。またハリエンジュで認められた夏期の若干の上昇は、辺材中に占められる生細胞の割合の増加に起因すると考えられる。ハリエンジュでは辺材幅が非常に狭く、数年輪が含まれるのみであるため、肥大成長最盛期における形成中の生細胞が辺材に占める割合が著しく増え、結果として含水

率が上昇すると言える。一方、カスミザクラで認められた含水率の夏期の若干の低下要因は不明である。水ストレスに伴うエンボリズムが原因かもしれない。

木質の熱利用の観点より含水率の季節変化を評価すると、針葉樹の心材、広葉樹の心材と辺材には燃焼や乾燥期間に影響を及ぼす程度の変化はないと言える。針葉樹の辺材には含水率の差として50%以上の比較的大きな含水率の増加が認められ、冬期に伐採した場合には辺材の若干の乾燥時間の増加の必要性が見込まれる。しかし、辺材では乾燥速度が速いことから、心材の乾燥に要する時間に比べるとその影響は非常に限定されるのではないかと考えられる。したがって、熱利用を目的とする立木の伐採適期は、針葉樹、広葉樹共にないと言える。

### 謝 辞

試料採取にあたり、信州大学農学部附属アルプス圏フィールド科学教育研究センターより協力を受けた。本研究の一部は平成25年度 信州大学 地(知)の拠点整備事業地域志向教育研究支援事業、平成26年度信州大学グリーンイノベーション研究支援事業「長野県における木質バイオマスエネルギーの持続可能な利用拡大・定着のための森林資源状況の評価と適正利用量の算定についての基礎的研究(代表:岡野哲郎)」の一部として実施した。

### 引用文献

- 1) 上伊那林業再生協議会(2012) 未利用材活用ガイドブック～山に残された木材を価値あるものに～. pp 47. <http://www.pref.nagano.lg.jp/kamichi/kamichi-rimmu/kannai/rinmu/documents/guidebook.pdf>
- 2) 熊崎実・沢辺攻(2013) 木質資源とことん活用読本. 農文協, pp163.
- 3) 牛島俊平(2008) 薪ストーブ用木質燃料の品質管理に関する研究. 信州大学農学部森林科学科卒業論文.
- 4) 佐野哲也・井 春夫・吉田貴紘・大原誠資(2011) 分割材の天然乾燥による水分減少経過. 日本森林学会誌93: 133-138.
- 5) 池田潔彦・大森昭壽(1991) 伐倒月別のスギ幹材含水率. 静岡県林業技術センター研究報告19: 43-48.
- 6) 池田潔彦・木野直樹(2000) 応力波伝播速度による立木材質の評価と適用(第1報) スギ立木含水率の季節変動と応力波伝播速度による評価. 木材学会誌46(3): 181-188.
- 7) 池田潔彦(2006) 同一林分内で各月の新月, 満月に伐採したスギの生材含水率. 静岡県林業技術センター研究報告34: 25-30.
- 8) 中田了五(2007) スギの樹幹内水分分布の変異とその変動要因に関する研究. 林木育種センター研究報告23: 121-254.
- 9) 松村順司・堤 寿一・小田一幸(1994) 樹幹横断面内の気体透過性への有縁壁孔閉塞の関与 自然乾燥されたスギ材とカラマツ材についての考察. 九州大学演習林研究報告71: 35-46.
- 10) 矢沢亀吉・石田茂雄・大谷 諄(1967) 心材の人工形成に関する研究. 北海道大学演習林研究報告25(1): 9-34.
- 11) Dujesiefken, D., Liese, W. (1991) Baumpflege – Stand der Kenntnis zu Sanierungszeit, Kronenschnitt und Wundbehandlung. In: Baumpflege in Hamburg. Nat. schutz Landsch. Pfl. Hambg. 39: 198-238. (Schweingruber, F.H. 1996. Tree-rings and environment dendroecology. Edited by Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, WSN/FNP, Birmensdorf. Paul Haupt Publishers, Bern. より引用)
- 12) 中田了五・藤澤義武・平川泰彦・山下香菜(1998) スギの生材含水率の個体内樹高方向での変化. 木材学会誌44: 395-402.
- 13) Nakada, R., Fujisawa, Y., Hirakawa, Y. (1999) Soft X-ray observation of water distribution in the stem of *Cryptomeria japonica* D. Don 1: general description of water distribution. Journal of Wood Science 45: 18-193.
- 14) Nakada, R., Fujisawa, Y., Yamashita, K., Hirakawa, Y. (2003) Changes in water distribution in heartwood along stem axes in *Cryptomeria japonica*. Journal of Wood Science 49: 107-115.

## Seasonal changes in water content in living stems of four conifer species and five hardwood species

Ayano MAEDA<sup>1,2</sup> and Koh YASUE<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Agriculture, Shinshu University

<sup>2</sup>Present address: Daiwa Logistics CO. LTD.

<sup>3</sup>Institute of Mountain Sciences, Shinshu University

### Summary

Seasonal changes in water content of living stems of four conifer species (*Cryptomeria japonica*, *Chamaecyparis obtusa*, *Larix kaempferi*, *Pinus densiflora*) and five hardwood species (*Quercus serrata*, *Quercus acutissima*, *Castanea crenata*, *Robinia pseudoacacia*, *Prunus verecunda*) were observed at Research Forest in Campus Station, Education and Research Center of Alpine Field Science of Shinshu University. Increment cores were taken from three trees for each species once a month. Water contents for both sapwood and heartwood were observed. The heartwood for all species except for *Cryptomeria japonica* revealed little seasonal variation in water content. The large variations in water content for *Cryptomeria japonica* might be due to local variation in water content in wet wood. The sapwood of *Cryptomeria japonica*, *Chamaecyparis obtusa* and *Larix kaempferi* revealed abrupt increase in water content from October or November to December. The sapwood of hardwood species revealed little seasonal changes in water content.