

ナラ類の積極的利用とナラ枯れ被害拡大防止技術に関する研究

山口健太・柳澤賢一・吉田孝久・今井信・奥原祐司・山内仁人*¹・

山岸信也*²・岡田充弘*³・柴田直明*⁴

ナラ枯れ被害の防除やナラ健全木の積極的利用を効果的に進めるため、ナラ枯れ被害拡大予測モデルの適合性を検証するとともに県内ナラ類の分布と樹種別の被害状況を把握した。その結果、北信、下伊那、木曽のいずれの地域でも、被害発生予測マップでナラ枯れが発生すると判定された箇所では85.7%以上の高い中率で被害が発生した。また、ミズナラが被害を受けやすい傾向があり、ミズナラが多く分布する北信地域では被害が激害化した。コナラが多い県南部では被害の激増を免れていた。

長野県産のコナラ・ミズナラの板材(20×100×2,000mm)について標準的な乾燥スケジュールを決定するため、それぞれについて電気定温乾燥機により100℃急速乾燥試験を行った。さらにこの結果から誘導された標準的な乾燥スケジュールにより、仕上がり目標含水率を8~10%として乾燥試験を実施した。その結果、採用した乾燥スケジュールでの乾燥により目標含水率をほぼ満足したが、曲がりやカップが大きい結果となった。県産ナラ類について、標準的な乾燥スケジュールは確立できたものの、全体として曲がりやカップ等が大きく、末口径30cm以下の原木においては、短尺材や幅の狭い材としての利用が示唆された。

ナラ枯れ被害の発生が予測された林分のミズナラを中心に、被害前の県産ナラ類を短尺材等として利用していくことが、利用と防除の両側面で有効であると考えた。

キーワード：ミズナラ、コナラ、ナラ枯れ、大径材、乾燥、被害発生予測システム

目次

- 1 緒言
- 2 ナラ枯れ被害拡大予測モデルの適合性と樹種別被害の把握
 - 2.1 被害発生予測マップの検討
 - 2.2 ナラ類分布図の作成
 - 2.3 樹種別被害状況の把握
- 3 県産ナラ類(コナラ・ミズナラ)の製材及び乾燥特性の把握
 - 3.1 ミズナラ板材の製材及び乾燥試験
 - 3.2 コナラ板材の乾燥試験
 - 3.3 コナラ・ミズナラ板材の乾燥試験
 - 3.4 ナラ枯れ被害丸太の利用法の検討
- 4 結言
- 5 謝辞

1 緒言(はじめに)

ブナ科樹木萎凋病(以下、ナラ枯れ)は、ナラ類やカシ類の樹木が集団的に枯死する病害で、体長5mm程度のカシノナガキクイムシ(*Platypus quercivorus*, 以下、カシナガという)が病原菌(*Raffaelea quercivora*, 以下、ナラ菌, Kubono and Ito 2002)を樹体内に持ち込むことにより発生す

る。長野県内では、2004年に北信地域の飯山市、信濃町でミズナラ被害木が確認され、2005年に下伊那地域の下伊那郡天龍村でコナラ被害木が新たに発見された(岡田ら2009)。2008年には大北地域の小谷村で新たに確認され、その後、北信地域を含む県北部の被害は南下した(岡田ら2011)。2010年に県内の被害本数は12,810本でピークとなったあと減少に転じ、2015年には被害本数は1,020本となっている(林務部資料2016)。被害本数は減少傾向にあるが終息には至っておらず、県南部では一部地域で防除も行われてきたが被害区域は拡大しつつある。

本病害の被害対策としては、マツ材線虫病被害対策と同様に、感染源となる被害木の伐倒処理、健全木の被害予防処理、被害を受けにくい森林への樹種転換が挙げられる。ナラ林として維持する場合には、早期に被害を発見するとともに微害のうちに防除を行うことが重要である。特にナラ枯れは大径木に発生しやすいとされるため(森林総合研究所関西支所2007)、被害を受ける前に大径材を積極的に利用することが有効な対策であると考えられる。そして対策を進める上では、どこで被害が発生し、どこへ被害が拡大する危険があるのか

*1 現 上伊那地域振興局林務課 *2 現 南信州地域振興局林務課 *3 現 森林づくり推進課 *4 現 林業総合センター木材部

を把握することが重要である。

しかし、県内の広域にわたるナラ枯れ被害の位置情報は整理されておらず、対策や利用すべき林分が把握されていない。また現在、全国のナラ枯れの被害情報はGIS上で管理されつつあり、ナラ枯れ被害を予測する被害拡大予測モデルを用いた「ナラ枯れリアルタイム被害発生予測システム」が運用され始めた(山中ら2014)が、試行・検証段階である。一方、ナラ類の大径木をフローリング材、家具材などとして活用するには、大径材の乾燥特性、強度特性などが把握されておらず、利用が進んでいない。

本研究においては、被害拡大予測モデルの適合性を検討したうえで、被害樹種を把握し、被害材を含めた県産ナラ類の乾燥特性の把握及び利用技術の提案を行うことを目的とした。

なお、本研究は県単課題(2012~2016年度)として実施し、2及び3.4(1)については柳澤が、3については山口が執筆した。

2 ナラ枯れ被害拡大予測モデルの適合性と樹種別被害の把握

2.1 ナラ類分布図の作成

2.1.1 目的

ナラ枯れ被害の発生する確率の高い地域を把握することは、被害の防除と未被害材の積極的利用を進める上で重要である。近年、ナラ枯れ被害の発生を予測する「ナラ枯れ被害発生予測モデル」が森林総合研究所により開発された(近藤2012)。予測モデルは過去の多数の被害履歴をもとに、ある年の被害地とそこから最も近い前年の被害地との距離やその場所の樹種構成などを説明変数として、被害が発生する確率を算出するもので、メッシュ化された被害発生予測マップ(以下、予測マップ)として図示が可能である。予測マップは翌年どのメッシュで発生する確率が高いかを予測して示すものである。

この予測マップは現在、「ナラ枯れリアルタイム被害発生予測システム(以下、システム)」として運用が開始され、システム上で被害位置を入力することや被害木をGPS機能付きの携帯端末等で撮影し、専用のメールアドレスへ写真を送信することにより、自動処理が可能となっている。しか

し、予測マップにより予測された箇所で実際のナラ枯れ被害が発生するか否かの現地検証事例は少ない。

そこで、実際の被害位置と予測マップを照合することでの的中率を算出し、予測マップの適合性を検討した。

2.1.2 方法

北信地域では2002年から2013年までの被害位置情報をシステムにあらかじめ入力して予測マップを作成し、予測された地域を中心に2014年から2016年まで現地調査を行った。下伊那地域と木曽地域では、2014年の現地調査結果をもとに予測マップを作成し、2015年と2016年に現地調査を行った。現地調査は、カシナガ成虫の発生終期である9月から10月までの間、遠望により被害本数や位置を森林計画図上に記録するとともに、被害木に近づける場合はGPS機能付きデジタルカメラで写真を撮影し、被害本数を記録した。被害位置と被害本数はシステム上で直接入力し、位置情報付きの写真がある場合は専用アドレスへメール送信してシステムにアップロードした。

的中率は、各地域の当年の予測マップと被害木位置を重ね合わせ、被害が予測されたメッシュ上に存在する被害木の数を全被害本数で除して算出した。

2.1.3 結果と考察

北信地域の予測マップと被害調査結果を年別に図-1から図-4に示す。また、各地域の年別の中率を表-1に示す。各年とも既被害地を中心に予測された範囲内で被害が発生している。図-4の「a」の被害は、予測範囲内であるものの被害確率の低い位置で出現した。「a」の被害により、図-5の予測マップ上ではその周辺の被害発生確率が高くなっているが、図-6のように翌年に被害は発生しない場合もあった。的中率は、過去の被害位置情報のあった北信地域と下伊那地域では、いずれの年も100%となった。一方、2014年に被害があったものの発生位置情報のなかった木曽地域では、2015年の的中率が85.7%となった。

以上のことから、予測マップで被害予測がされた範囲内で被害が発生する確率は高く、被害の発生位置と適合すると判断した。特に前年の被害位置情報を入力することで精度を高めることができ

た。また、予測マップは発生確率の高低に関わらず、発生する危険のある範囲として捉えるべきと考えた。このシステムは携帯端末を利用して現地から被害情報を簡単に送信し、予測マップに反映させることが可能である。今後は、各地域で防除担当者がこのシステムを共有し、被害情報を収集、送信することでより精度の高い予測マップの作成

が可能になると考える。また、県境被害の予測には県外の被害情報が必要であることから、このシステムにより全国の被害情報を集約するべきである。

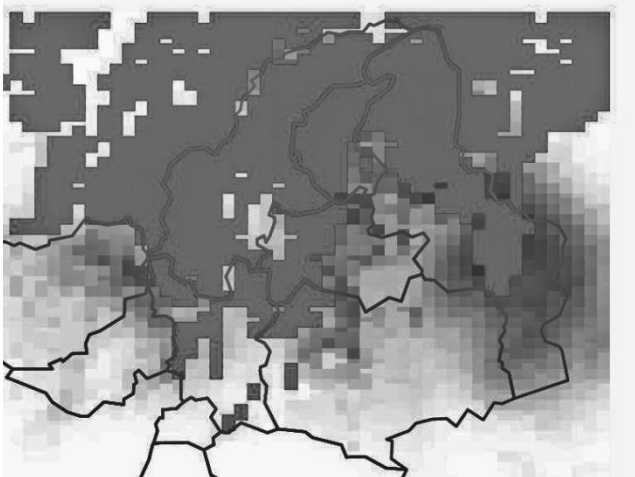
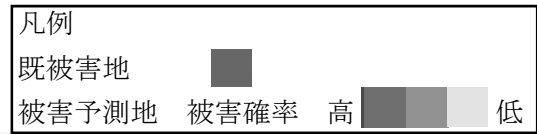


図-1 北信地域の予測マップ (2014)

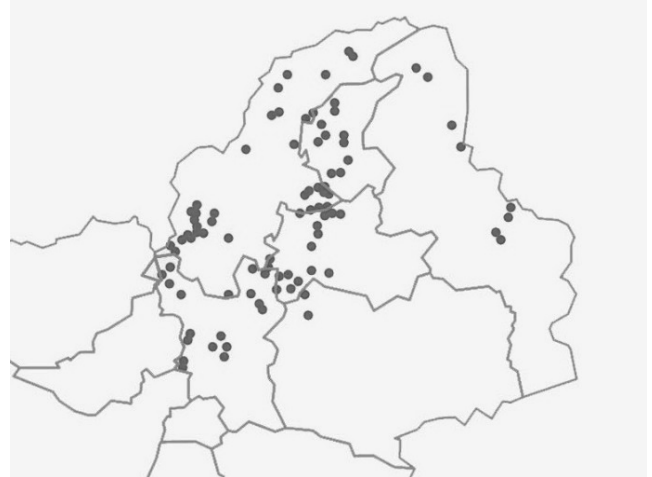


図-2 北信地域の被害位置 (2014)

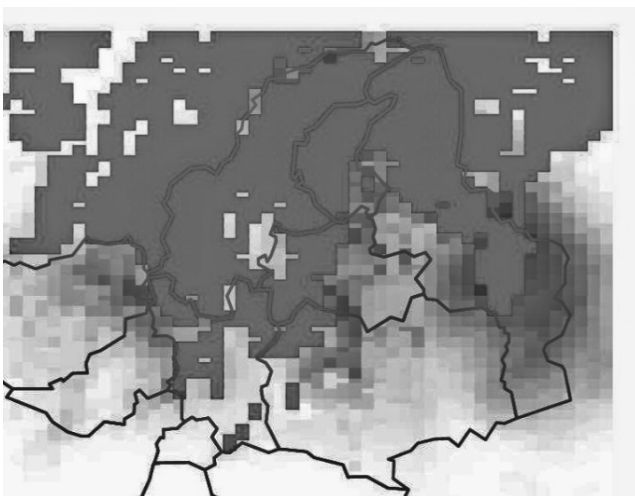


図-3 北信地域の予測マップ (2015)

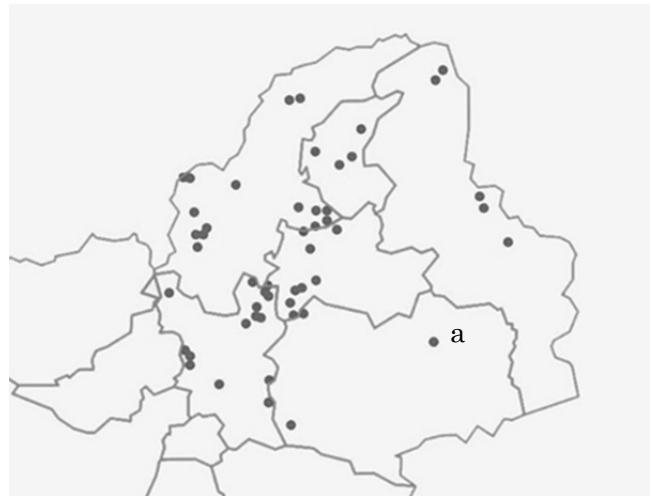


図-4 北信地域の被害位置 (2015)

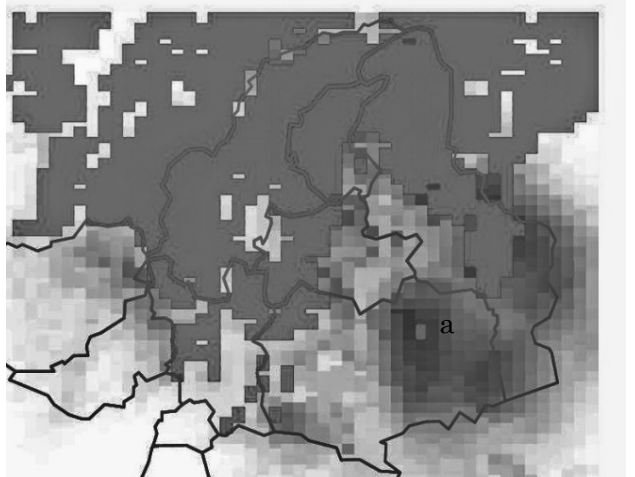


図-5 北信地域の予測マップ (2016)



図-6 北信地域の被害位置 (2016)

表-1 各地域の予測マップの年別の中率

北信				
調査年度	前年の被害位置情報	被害本数	的中本数	的中率 (%)
2014	あり	304	304	100.0
2015	あり	151	151	100.0
2016	あり	78	78	100.0

下伊那				
調査年度	前年の被害位置情報	被害本数	的中本数	的中率 (%)
2014	なし	42	-	-
2015	あり	30	30	100.0
2016	あり	19	19	100.0

木曽				
調査年度	前年の被害位置情報	被害本数	的中本数	的中率 (%)
2014	なし	762	762	-
2015	なし	35	30	85.7
2016	あり	162	162	100.0

2.2 ナラ類分布図の作成

2.2.1 目的

ナラ枯れの被害樹種は、ミズナラ、コナラ、クヌギなどの落葉ナラ類、常緑のカシやシイ類などである（黒田 2012）。落葉広葉樹林帯から針葉樹林帯である県内の被害樹種は、主にミズナラやコナラ（以下、ナラ類）と考えられる。ナラ枯れの利用と防除を計画的に進めるためには、県内のナラ類の分布域の把握が必要であるが、2.1 の予測マップは、ナラ枯れ被害の発生区域を予測するものの、ナラ類の位置を示すものではない。

そこで、県内でナラ枯れ被害が発生しうる位置を把握するため、ナラ類の分布をGIS上で図示することを検討した。

2.2.2 方法

長野県全県の森林を対象とし、環境省が行った自然環境保全基礎調査の第2回から第5回までの植生調査(1/50,000縮尺)のGISデータを用いた。空間基盤情報として、国土地理院所管の数値地図（国土基本情報）を用いた。これまでに、近藤らは同様のデータを用い、ミズナラ、コナラ、スダジイ、ウバメガシ、マテバシイ、アラカシ、アカガシの全国分布を3次メッシュ（約1×1km）で示している（近藤ら 2014）。本研究では、県内の植生調査GISデータをもとに、ナラ類が存在するポリゴンをそれぞれ抽出し、被害木位置との関連精度を高めるためメッシュ化せずに色分けした。解析にはArcGIS Ver. 10（ESRI社）を用いた。

2.2.3 結果

県内のナラ類分布図を図-7に示す。全県にナラ類は広く分布しており、コナラは長野地域から佐久地域にかけての低標高地や県南部に、またミズナラは県北部や高標高地域にまとまって分布している。これにより、県内各地域でナラ枯れ被害が発生する素因があることが示された。

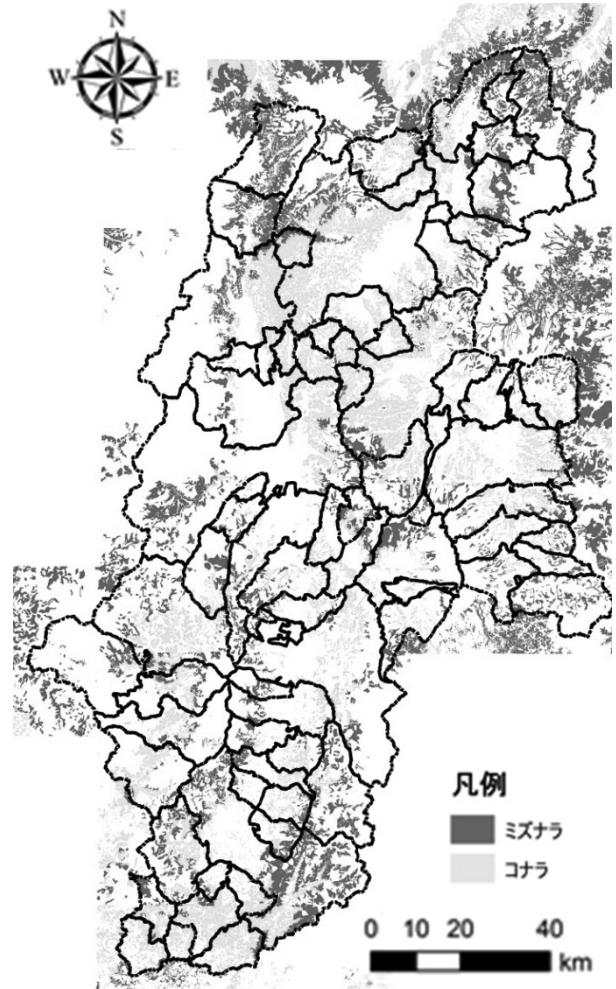


図-7 ナラ類分布図

2.3 樹種別被害状況の把握

2.3.1 目的

ナラ枯れ被害の樹種別感受性については、コナラよりもミズナラで強いとされている（小林 2006, 山形県農林水産部 2011）。これらの樹種の違いが県北部と南部の被害量や被害速度に影響を与えている可能性がある。そこで、被害の発生が早かった北信地域及び、下伊那地域と木曽地域を含む県南部について、ナラ枯れ防除や利用を優先する樹種と地域を検討するため、樹種別の被害状況の推移を比較した。

2.3.2 方法

調査期間は北信地域については 2002 年から

2016年、下伊那地域と木曽地域については2012年から2016年とした。調査はカシナガの発生前から発生終期である6月から10月までの間、各地域でナラ枯れ被害木の本数と位置の記録を地上調査により行った。また、地上調査を補完するため、被害が激害化した2004年から2011年まではヘリコプターからの被害木調査も同時に行った。あわせて、各地域振興局林務課などから被害本数と位置情報の収集を行った。

GIS上でナラ類分布図に被害木の位置を重ね合わせてレイヤを結合し、点情報をcsv出力することにより、被害木位置に該当する樹種を推定するとともに、地域毎に樹種別被害量の推移を比較した。被害位置情報のプロット及び解析にはArcGIS Ver. 10 (ESRI社)を用いた。

2.3.3 結果と考察

(1) 被害調査データの収集

被害調査の結果を集計した調査年ごとの被害本数を地域別に示す(表-2)。北信地域では調査期間中の全ての被害木について位置情報が得られた。下伊那地域では2012年、2014年、2015年、2016年について、また木曽地域では2012年、2015年、2016年について被害木の位置情報が得られた。以下、各地域の位置情報の得られた年について検討した。

(2) ナラ枯れ被害位置の時系列変化

北信地域のナラ枯れ被害位置図を年別に図-8から図-10に示す。新潟県境で発生した北信地域の被害は、2005年にミズナラの小集団的被害となって南へ拡大した。被害は2009年にはミズナラの集団的被害となって激害化するとともに南下してコナラの分布域に拡大し、コナラの小集団的被害または単木被害となって、長野地域に向かって南下した。2013年には被害地は分散し、ミズナラ及びコナラの小集団的または単木被害となって、終息傾向となった。

下伊那地域及び木曽地域のナラ枯れ被害位置図を年別に図-11から図-13に示す。下伊那地域では、2012年に根羽村を中心にコナラの小集団的被害が発生していたが、2015年、2016年には被害はコナラの単木被害となって分散していた。また、木曽地域では2012年に南木曽町でコナラの単木被害が発生し、2015年にはコナラの小集団的被害

または単木被害となって被害は北上し、ミズナラにも被害が確認された。2016年にはコナラの単木被害が継続的に発生し、わずかに北上した。

(3) 樹種別被害本数の推移

地域ごとに樹種別ナラ枯れ被害本数の推移を図-14から図-16に示す。北信地域については、被害が激害化する前の2006年の被害本数は、ミズナラが764本であったのに対しコナラが401本、被害ピークの2009年にはミズナラ8,280本に対しコナラ964本、被害が沈静化した2013年はミズナラ202本に対しコナラ168本となった。2007年にミズナラの被害が急増し、2011年には激減したことから、北信地域のミズナラの被害は6年程度で終息傾向となった。一方、コナラはミズナラほど明瞭な被害ピークはないが、継続して被害が発生していた。下伊那地域では、被害ピークの2012年にはミズナラが8本であったのに対し、コナラが260本であった。木曽地域では、2014年に被害ピークとなったが被害位置情報を得られなかったため、樹種判別が不可能であった。被害本数は2016年にはミズナラが12本であったのに対しコナラは150本であった。ピーク時の被害本数は、北信地域が9,244本、下伊那地域が268本、木曽地域が762本であり、北信地域の被害本数は下伊那地域や木曽地域に比べ、明らかに多かった。

北信地域でミズナラが優先する森林で被害が激増したこと、被害が南下したもののコナラが優先する北信地域南部では被害が激害化しなかったこと、県南部では主にコナラの被害にとどまっており、被害本数の激増を免れていることから、本県においてもミズナラがコナラよりも被害を受けやすい傾向があった。このことから、ナラ枯れ被害

表-2 地域別ナラ枯れ被害本数の推移

調査年度	被害本数(本)		
	北信	下伊那	木曽
2002	70	0	0
2003	71	0	0
2004	782	0	0
2005	1616	42*	0
2006	1165	0	0
2007	3393	0	0
2008	7374	0	0
2009	9244	127*	0
2010	8278	101*	0
2011	2710	234*	0
2012	1912	268	4
2013	370	210*	203*
2014	304	42	762*
2015	151	30	35
2016	78	19	162

*位置情報なし

の接近したミズナラ林は未被害地のうちに防除対象とする、あるいは材として利用し林分を更新していく必要があると考えた。特に予測マップで予測された区域のミズナラ大径木は、優先して処理する必要がある。また、防除は被害が微害であるうちに行うことが効果的であるとされることから

(森林総合研究所 2011)、コナラが優先する県南部の被害先端地では積極的にコナラに対する防除を進めることが有効であると考えた。ナラ枯れ被害とナラ類の林齢や標高との関係については今後検討を要する。

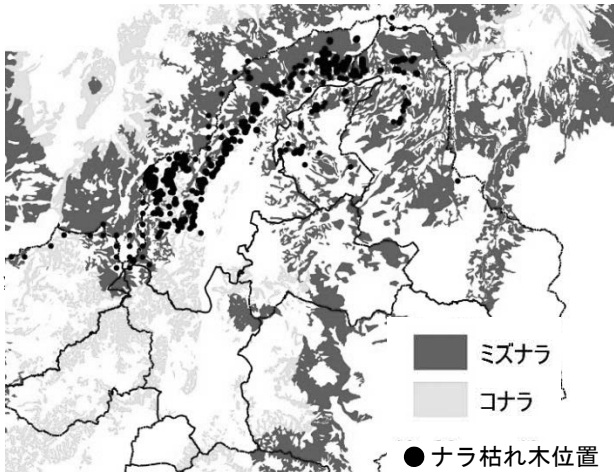


図-8 北信地域のナラ枯れ被害位置 (2005年)

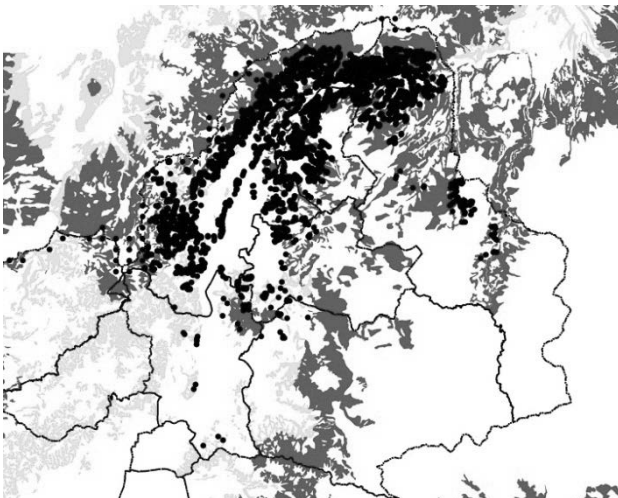


図-9 北信地域のナラ枯れ被害位置 (2009年)

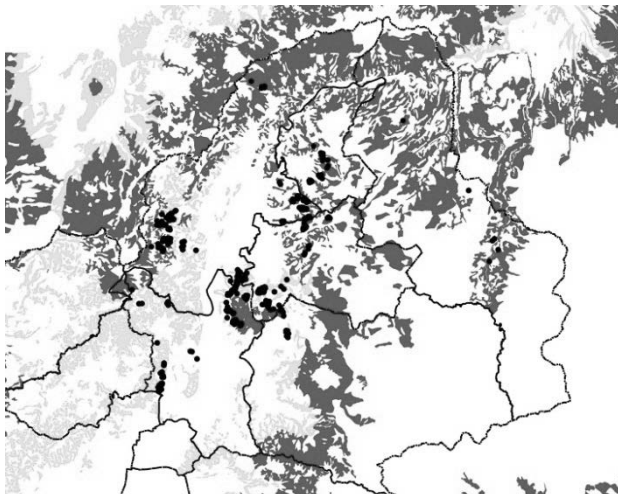


図-10 北信地域のナラ枯れ被害位置 (2013年)

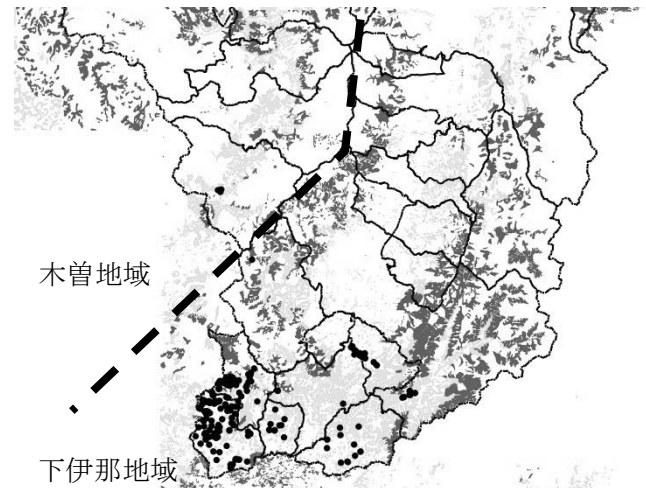


図-11 下伊那, 木曽地域のナラ枯れ被害位置 (2012)

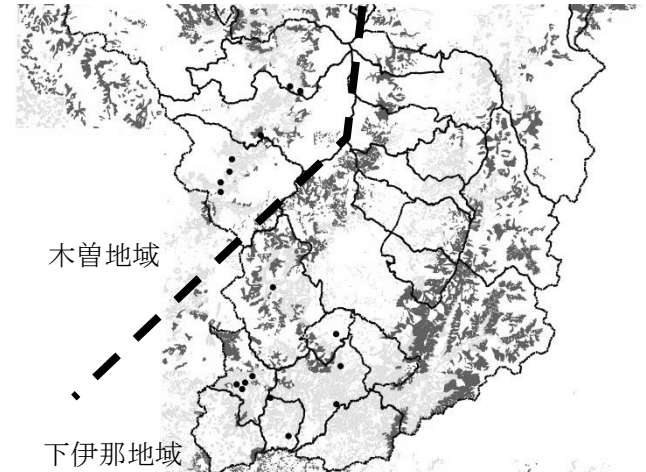


図-12 下伊那, 木曽地域のナラ枯れ被害位置 (2015)

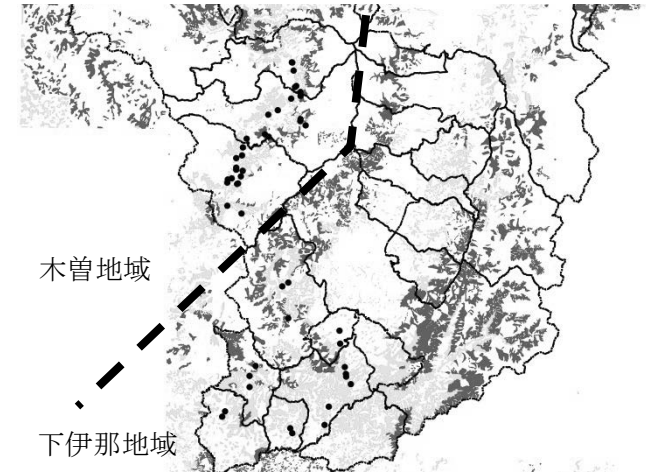


図-13 下伊那, 木曽地域のナラ枯れ被害位置 (2016)

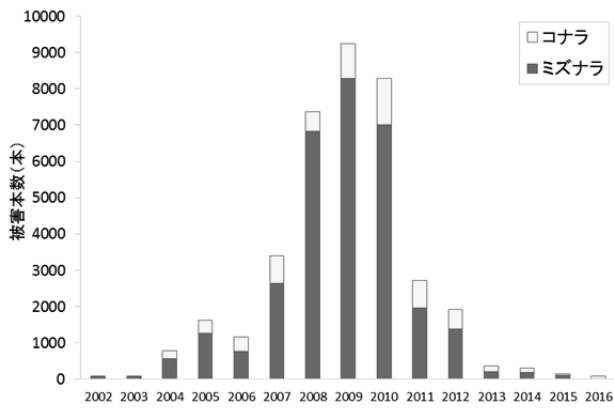


図-14 北信地域の樹種別被害本数の推移

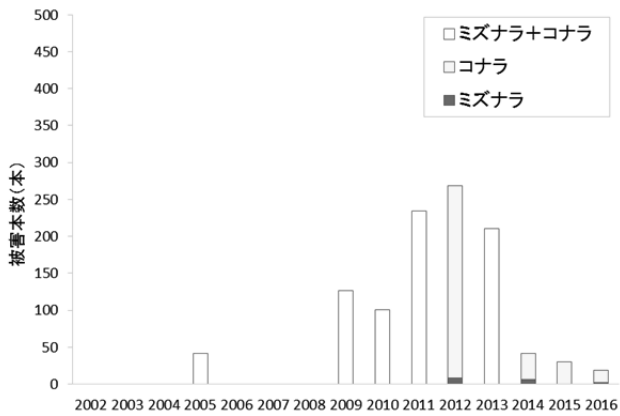


図-15 下伊那地域の樹種別被害本数の推移

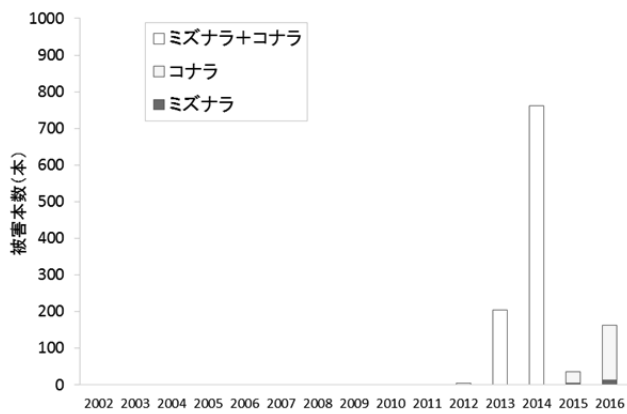


図-16 木曽地域の樹種別被害本数の推移

3 県産ナラ類(コナラ・ミズナラ)の製材及び乾燥特性の把握

3.1 ミズナラ板材の製材及び乾燥試験

3.1.1 目的

長野県産ミズナラを無垢フローリング原料として利用するための基礎資料を得ることを目的として、乾燥試験を行い特性を把握した。

3.1.2 試験方法

長さ2m、末口短径17.8~27.0cmの長野県産ミズナラ14本(写真1-2)を製品寸法15mm厚フローリングとして利用するため、厚さ21mm×幅90~150mm×長さ2000mmの板材に製材した。製材した板材は全143枚であり、1本の丸太から得られた枚数は7~17枚であった。

この中から、まず、標準乾燥スケジュールを決定するため、試験材3枚を選び小試験片(20×100×200mm)に調整し、電気定温乾燥器により100℃急速乾燥試験を実施した(写真1-4)。この結果から推定された標準的な含水率乾燥スケジュール(表1-6)により、仕上がり目標含水率を10%として本乾燥試験を実施した。

乾燥は蒸気式木材乾燥装置により、栈木厚は25mm(アルミ栈木)、栈木間隔は約30cm、重石1栈積み約1.5トン(全3トン)として実施した(写真1-3)。乾燥中の含水率経過を確認するため、長さ約70cmのテストピース3枚(NO.A~C)を準備して必要に応じ随時重量の測定を行った。乾燥後、割れ、含水率、水分傾斜、曲がり、カップ(巾ぞり)等の形質変化を測定した。



写真1-3 21mm厚ミズナラ板材人工乾燥の様子

3.1.3 試験の結果と考察

(1) 100℃急速乾燥試験の結果

100℃急速乾燥試験(写真1-4)の結果を表1-4及び表1-5に示した。

100℃試験の結果、乾燥初期の木口割れ、表面割れは極少であった。乾燥終了後、試験材の中央部で鋸断した時の糸巻状変形(板材材縁部の厚さと中心部厚さとの差)は1.33mm~1.68mmであり中庸、内部割れは皆無であった。

この結果から導かれた標準的な乾燥スケジュールを表1-6に示した。乾燥初期の乾球温度は55℃、湿球温度は51℃、乾湿球温度差は4℃であり、乾燥末期の乾球温度は80℃、湿球温度は50℃、乾湿球温度差は30℃とした。乾燥後のイコーライジングは乾球温度はそのままの80℃とし、湿球温度は70℃、乾湿球温度差は10℃とした。また、引き続き行うコンディショニングは乾球温度は80℃、湿球温度は75℃、乾湿球温度差は5℃とし、処理時間はイコーライジング、コンディショニングともに通常よりやや長めの24時間を設定した。



写真1-2 乾燥試験に供したミズナラ丸太



写真1-4 100℃急速乾燥試験の様子

表 1-4 100°C急速乾燥試験の結果

	心材率 (%)	全乾密度 (g/cm ³)	初期含水率 (%)	5段階判定			総合判定
				初期割れ	糸巻状変形	内部割れ	
NO. A	80	0.731	71.8	2	3	1	糸巻状変形により「3」
NO. B	30	0.807	61.4	2	3	1	
NO. C	50	0.764	55.2	2	3	1	

表 1-5 100°C急速乾燥による全収縮率

	接線方向 (巾)	半径方向 (厚さ)	繊維方向 (長さ)
NO. A	8.50	6.87	0.32
NO. B	8.91	7.52	0.66
NO. C	8.26	6.60	0.29
平均値	8.56	7.00	0.42

表 1-6 ミズナラ板材(21mm)の標準的な含水率スケジュール

含水率 (%)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	温度差 (°C)
生~40	55	51	4
40~35	55	48	7
35~30	60	50	10
30~25	65	50	15
25~20	70	50	20
20~15	75	50	25
15以下	80	50	30
イコライジング*	80	70	10
コンディショニング*	80	75	5

(※イコライジング*およびコンディショニング*の処理時間はそれぞれ 24 時間)

(2) 乾燥経過と仕上がり含水率

乾燥の経過を図 1-2 に示した。図中には乾燥途中での一部重量測定が不可能であった推定値も含めて表示した。冷却期間を除いた 10 日間の乾燥で乾燥終了時の 3 枚のテストピースの含水率は NO. A = 7.7%, NO. B = 8.6%, NO. C = 8.1% であった。また、栈積み内での含水率を確認するため、乾燥終了後、栈積みの中から無作為に 17 枚の板材を選び全乾法により含水率を調査した。

その結果、平均 8.9% (8.0~9.9%) で小扉近くに立て掛けておいたテストピースとほぼ同様であり、目標含水率 10% をほぼ満足していた。これらの材の全乾密度は平均 0.766 g/cm³ (0.689~0.814g/cm³) であった。

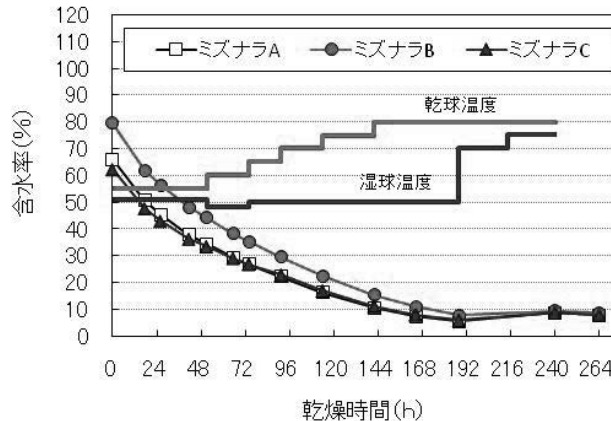


図 1-2 ミズナラ 21 mm 板材テストピースの含水率経過

(3) 乾燥速度

表 1-7 に含水率経過範囲ごとの乾燥速度を示した。

乾燥速度に大きく影響するとされる全乾密度は、今回調査したミズナラで 0.689~0.814g/cm³ であり、キリを除いた一般的な広葉樹の全乾密度範囲を 0.5~0.9 と考えると、ミズナラの全乾密度は中~上位に位置し、やや乾燥し難い樹種と思われた。しかし、100℃試験より導き出された標準乾燥スケジュールは広葉樹の中では比較的高温であったためか、このスケジュールによる今回の乾燥結果は 10 日間であり、以前行ったクヌギ (20mm 厚：全乾密度 0.758~0.871g/cm³) の乾燥 (吉田ら 2012) の 15 日と比較して乾燥温度が若干高かったこともあり短時間での乾燥であった。

乾燥開始時から含水率 30% までのおよその平均乾燥速度 (1 時間当りの含水率低下量) は 0.54%/h であり、その後、含水率 30%→20% までは速度が徐々に減少しこの間の平均は 0.28%/h であった。さらに乾湿球温度差を 25℃とした乾燥末期の含水率 20%→10% までは、平均で 0.23%/h と乾燥初期の速度の半減のスピードに低下した。

乾燥時間および乾燥仕上がりの材の状態を見れば今回の乾燥はほぼ適当な乾燥スケジュールであったと思われる。しかし、今後更なる乾燥時間の短縮を考えると、乾燥温度の検討やこれに伴う湿球温度の検討が必要であり、また、省力化を考えた場合は、含水率スケジュールからより省力化したタイムスケジュールに移行する検討が必要である。

表 1-7 各含水率域における乾燥速度 (1 時間当りの含水率低下量)

含水率範囲	乾燥速度 (%/h)			
	NO. A	NO. B	NO. C	平均
生~30 %	0.560	0.545	0.505	0.537
30~20 %	0.273	0.316	0.246	0.278
20~10 %	0.234	0.226	0.228	0.229

(4) 乾燥後の水分傾斜

乾燥終了後にテストピースの厚さ方向の水分傾斜を測定した (写真 1-5)。結果、水分傾斜は表層と中心部の差で 0.4~1.4% あったが、調湿処理により表層、中心層はほぼ均一に仕上がったものと判断した。(図 1-3) その後、製品加工までの期間にさらにこの差は小さくなるものと思われる。

今回の試験では、イコーライジングとコンディショニングはそれぞれ 24 時間行っているが、コンディショニング時 (DBT80℃, WBT75℃) の平衡含水率は 11.6% であるのに対し、乾燥終了時の表層の含水率が 8% 前後と平衡含水率よりかなり低くなっていた。これは冷却時に乾燥装置内で 12℃ 程度の温度差が生じてしまったため、表層の含水率が低下したためと考えられる。このことについてはイコーライジングやコンディショニング時の温度を 70℃ 程度の低めに変更する等、調湿処理時間を含めて冷却処理時の温湿度調整をさらに検討する必要がある。

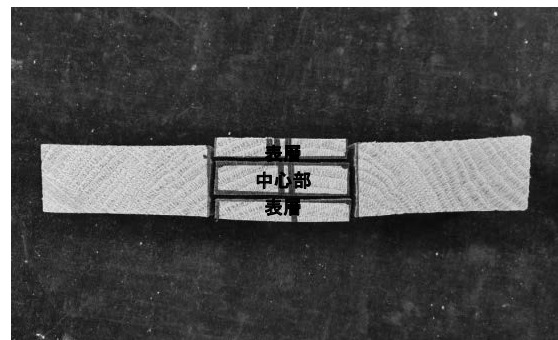


写真 1-5 水分傾斜計測の様子

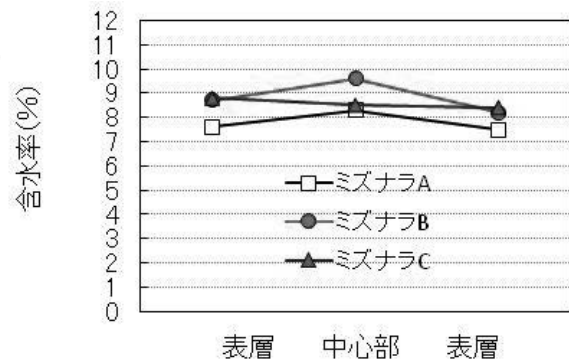


図 1-3 乾燥後の水分傾斜

(5) 乾燥による形質変化

縦ぞり、曲がりの測定を行い、カップ(幅ぞり)の測定の様子を写真 1-6 に示した。また、これら測定により明らかになった乾燥による形質変化を表 1-8 に示した。

材面割れについて、板目面に発生する一般的な材面割れはほとんど発生しなかった。しかし、髄を持った材の多くに割れ(髄割れ)が確認された(写真 1-7)。

また、髄を持った材では割れが生じなくても髄部が変形して盛り上がった状態になった。これは、髄付近の材が多く製材される小中径材を試験対象としたために起きた結果であると思われる。また木口割れについては、製材から乾燥までの間に既に数センチ程度の割れが発生していたが、乾燥による大きな延長はほとんどなかった(写真 1-8)。

縦ぞりと曲がりについて、製材後と乾燥後の発生量を順位化して図 1-4 と図 1-5 に示した。

縦ぞりは製材後で平均 5.8mm/2m と大きく、乾燥後では平均 2.7mm/2m と減少した。これは製材後の反りの方向が多くの方で木表側であったのに対し、乾燥後では逆に木裏側に反る材が多く出たためであった。乾燥前(製材後)に木表側に反っていた板はおよそ 8 割であったが、乾燥後には逆転し 2 割強となり、逆に乾燥前(製材後)に木裏側に反った 1 割ほどの板は、乾燥後には 5 割に増えた(図 1-6)。

曲がりについては、製材後平均 2.2mm/2m あったものが乾燥後には平均 7.0mm/2m と増大した。また、カップ(巾ぞり)は平均で 1.0mm/10cm (0.05~3.72mm) の発生があり、特に、髄の近辺から木取られた板材ではカップが大きかった(写真 1-6)。

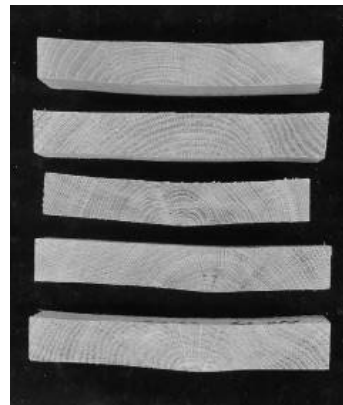


写真 1-6 カップの測定と製材木取り位置による様々なカップの様子

表 1-8 乾燥による形質変化 (21mm ミズナラ板材)

	乾燥前		乾燥後						
	縦反り (mm)	曲り (mm)	重量減少 (%)	幅方向 収縮率 (%)	厚方向 収縮率 (%)	含水率計 含水率 (%)	カップ (mm/10cm)	縦反り (mm)	曲り (mm)
平均値	5.8	2.2	67.5	7.08	6.41	6.5	1.00	2.7	7.0
最小値	0.0	0.0	59.2	2.89	2.00	3.0	0.05	0.0	0.0
最大値	27.0	7.0	76.9	9.90	11.06	10.0	3.72	12.0	27.0
標準偏差	4.9	1.8	3.1	1.58	2.02	1.2	0.6	2.3	5.5
変動係数	83.8	84.2	4.6	22.3	31.5	18.0	60.2	86.5	78.3
個体数	140	140	156	156	151	156	90	128	129



写真 1-7 髓を含んだ材の割れ (髓割れ)



写真 1-8 木口割れの様子

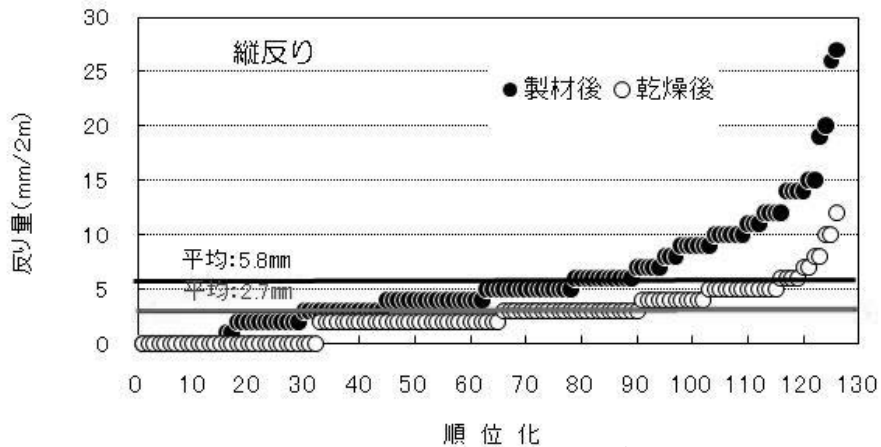


図 1-4 製材後と乾燥後の縦ぞり

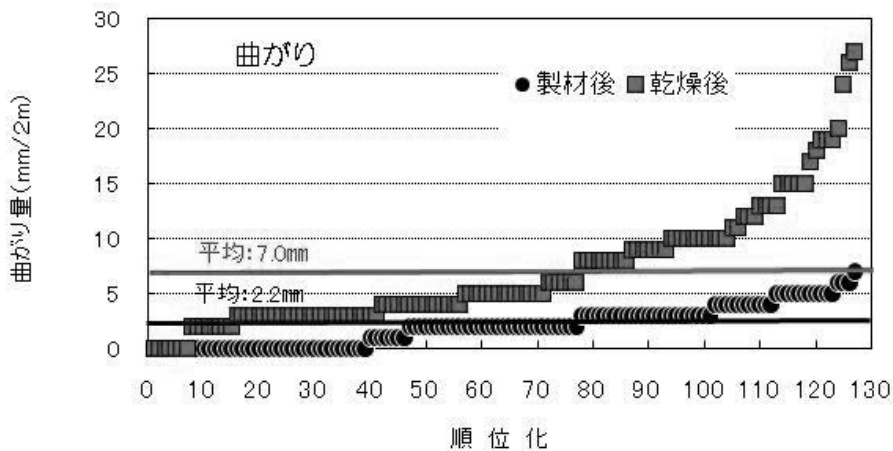


図 1-5 製材後と乾燥後の曲がり

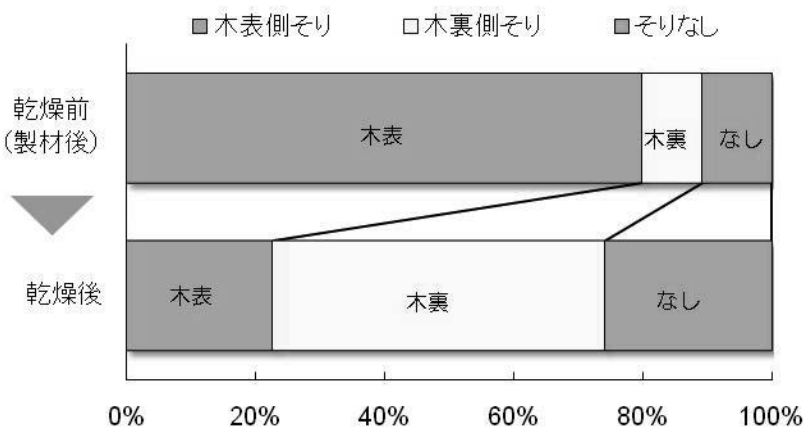


図 1-6 乾燥前 (製材後) と乾燥後における縦そりの方向の変化

(6) まとめ

長野県内に多く分布するミズナラ（末口径 18～30cm）について使用目的をフローリング材として製材厚 21mm に製材し乾燥試験を行った。その結果、以下のとおりであった。

- ①全乾密度は平均 $0.766\text{g}/\text{cm}^3$ ($0.689\sim 0.814\text{g}/\text{cm}^3$) であった。
- ②初期含水率がおよそ 70% のミズナラ板材は 10 日間の乾燥で平均 8.9% ($8.0\sim 9.9\%$) に仕上がりに、水分傾斜もほとんどなかった。
- ③乾燥材は、板目面に発生する一般的な材面割れはほとんどなかったが、髄を含んだ板では割れ（髄割れ）が多く確認された。
- ④木口割れは乾燥前の程度とほとんど変わらなかった。
- ⑤縦ぞりは、製材後で平均 $5.8\text{mm}/2\text{m}$ と大きく、乾燥後では平均 $2.7\text{mm}/2\text{m}$ と減少した。これは製材後の反りの方向が多くの板で木表側であったのに対し、乾燥後では逆に木裏側に反る材が多く出たためであった。
- ⑥曲がり、製材後平均 $2.2\text{mm}/2\text{m}$ あったものが乾燥後には平均 $7.0\text{mm}/2\text{m}$ と増大した。
- ⑦カップ（巾ぞり）は平均で $1.0\text{mm}/10\text{cm}$ ($0.05\sim 3.72\text{mm}$) 発生し（写真-5）、特に、髄の近辺から木取られた板材ではカップが大きかった。

以上の結果を既往の広葉樹に関する文献データを含めて検討すると、ミズナラの乾燥スケジュールにおいては初期乾球温度 55°C 、終期乾球温度 80°C が標準であり、この乾燥スケジュールで乾燥した場合、乾燥日数は冷却期間を含めずおよそ 10 日で含水率 10% 程度に仕上げることが可能である。

また、当試験原木から実施された製材試験の結果によると、曲がり大きな原木が多かったことにより製材歩留まりが平均 52.8% と低い値となったと述べられている（伊神 2014）。このことから、今回試験を行ったミズナラの板材は曲がり大きく、その原因は原木の末口径が 30cm 以下のやや曲がりの多い中小径材だったためと思われ、長尺タイプのフローリング製造は歩留まりの点で困難であり、曲がり部の頂点での切断や節部を削除して使用する短尺タイプのフローリング向きであると思われる。

3.2 コナラ板材の乾燥試験

3.2.1 目的

長野県内に多く分布するコナラを加工し、利用を促進することを目的とした乾燥試験を行い、その特性を把握した。

3.2.2 試験方法

長野県産コナラ丸太から $40\text{mm}\times 100\text{mm}\times 2,000\text{mm}$ の板材を製材し、含水率計含水率で約 30% まで約 3 ヶ月間の天然乾燥を実施した。

天然乾燥後、林業総合センター所有の蒸気式木材乾燥装置を使用して、過去の研究報告（吉田ら 1987）を参考にして乾燥スケジュールを決定し人工乾燥を行った（写真 2-1）。目標仕上がり含水率は 8～10% 以下とし、乾燥中の含水率経過を確認するためテストピース 3 枚（A～C）（ $40\text{mm}\times 100\text{mm}\times 600\text{mm}$ ）を採材して、1 日 1 回を基本に重量の測定を行った。

乾燥後供試材の中から 5 枚（a～e）を無作為に選びテストピース 3 枚と併せて水分傾斜を測定した。

さらに、供試材の中から形質変化測定用として 48 枚を選び、乾燥前後に、重量、寸法、含水率計含水率、曲がり、そりを測定した。



写真 2-1 栈積みの様子

3.2.3 試験の結果と考察

(1) 乾燥経過と仕上がり含水率

人工乾燥の経過を図 2-1 に示す。人工乾燥後の栈積み内コナラの全乾法による平均含水率は 8.3%（最大値 10.9%，最小値 6.6%，標本数 70 枚）であり目標はほぼ満足した。また、人工乾燥直前の含水率を全乾法から逆算すると平均含水率は 24.5%（最大値 33.8%，最小値 20.0%，標本数 67 枚）であり、天然乾燥による含水率の低減が認められた。

(2) 乾燥後の水分傾斜

供試材から選んだ5枚とテストピース3枚の水分傾斜を図2-2に示す。表層と中心の水分傾斜は最大で3.2%あるものもあったが(試験材b), その他は概ね横ばいであったことから, 乾燥機内の熱風は全体的に風当たりがよかったと思われる。

(3) 乾燥による形質変化

乾燥後の形質変化等のデータを表2-1に示す。また, 人工乾燥後の材面割れが発生した代表的な材の様子を写真2-2に示す。

過去の研究報告(吉田ら1987)と比べると, 人工乾燥後のそり, 曲がり及び材面割れ長さは過去のものと比べると値は小さくなっていたが(過去の

値はそれぞれ 4.57mm, 9.37mm, 86.0mm), 大きな差異は見られなかった。

(4) まとめ

15日間の乾燥(総乾燥時間358時間, その内調湿18時間冷却7時間)で仕上がり含水率は, 約8.3%となり水分傾斜も小さかった。人工乾燥後のコナラの形質変化は, 過去の研究報告と比べて材面割れや狂いが小さくなったものの大きな差異は見られなかった。

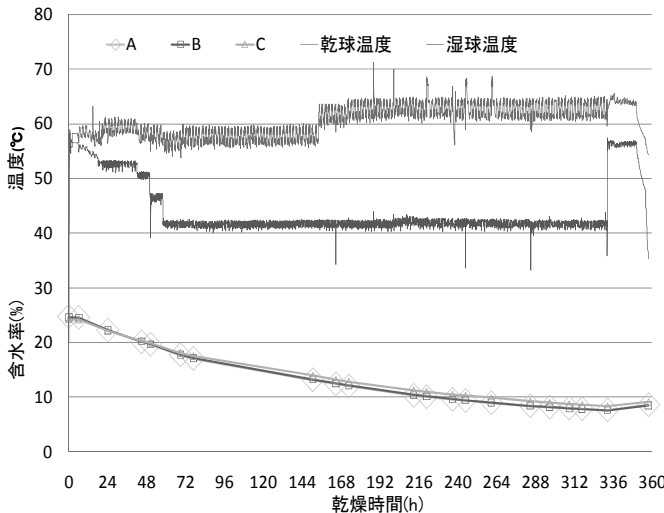


図2-1 乾湿球温度経過とテストピースの乾燥経過

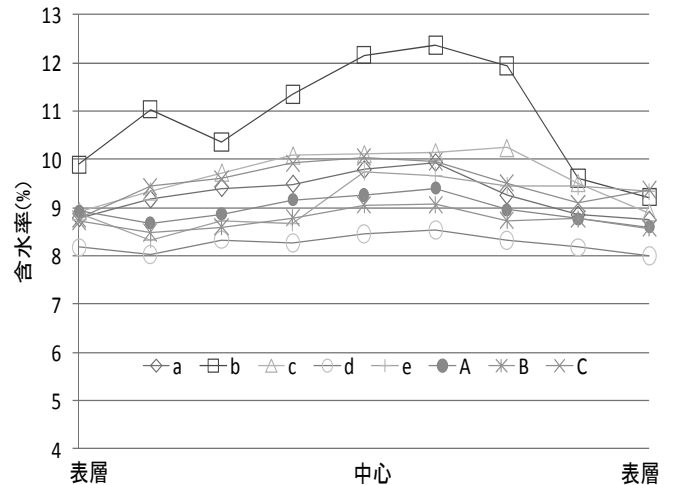


図2-2 水分傾斜

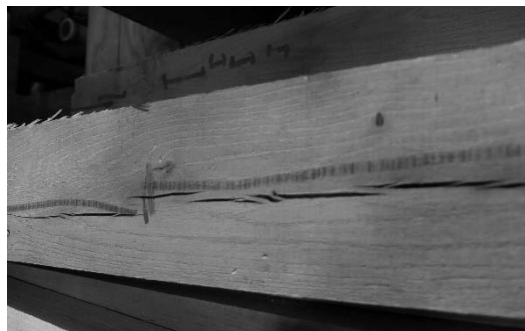


写真2-2 人工乾燥後材面割れ

表2-1 乾燥による形質変化

	収縮率(%)		そり(mm)		曲がり(mm)		割れ(mm)
	幅	厚さ	人工乾燥前	人工乾燥後	人工乾燥前	人工乾燥後	
平均	3.4	3.4	6.73	3.44	4.35	7.13	62.3
標準偏差	1.3	3.2	4.05	2.75	3.39	6.25	112.2
変動係数(%)	38.7	94.3	60.2	80.0	77.8	87.7	180.2
最大値	5.9	21.0	16.00	15.00	15.00	29.00	495.0
最小値	0.3	0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0

3.3 コナラ・ミズナラ板材の乾燥試験

3.3.1 目的

コナラはミズナラと比較して、製材歩留まりが悪いといわれている。その原因は、コナラはミズナラに比べて年輪が粗く、密度も高いので狂いが生じやすいためと思われるがはっきりとした原因は明らかになっていない。そこで今回の試験では、年輪の密及び疎なミズナラとコナラの原木の製材から乾燥までを行い、各特性を明らかにするための比較試験を行った。

3.3.2 試験方法

試験材である原木は長野県産材のミズナラ・コナラを用意した。丸太本数はミズナラ 16 本とコナラ 10 本の合計 26 本を試験体とした。まず原木の段階で平均年輪等を計測した。その中で比較的年輪が密(平均年輪幅:5.0mm 以下)なミズナラ、年輪幅が疎なミズナラ(平均年輪幅:5.0mm より大きい)と年輪が密で曲がりの大きいミズナラ(曲がりが 50mm/2,000mm 以上)を曲がり材として、コナラ材と合わせて 4 種の比較試験を行った。木取りは図 3-1 のとおり側板はさや挽きでフリッジはのし

挽きで行った。製材寸法は 23×140×2,000mm 及び 23×117×2,000mm の板材で、モルダー加工後に最終的に 15×114×2,000mm と 15×91×2,000mm のフローリング材に仕上げた。

板材の幅、厚さ、重量、含水率計含水率等を計測後、ミズナラ(年輪密及び疎)・コナラ各 3 枚の板について 100℃急速乾燥試験を行い、乾燥スケジュールを決定した。本乾燥ではテストピースをミズナラ年輪密 2 枚、ミズナラ年輪疎 2 枚、コナラ 2 枚(寸法:23×140×600mm)の計 6 枚を採材した。そのテストピースを乾燥機(蒸気式)の小扉近くに置き、概ね 24 時間ごとに重量を測ることでその時点の推定含水率を計算し、最も含水率が高いと考えられるものに合わせて、乾燥後含水率 10%程度を目標にしてスケジュールのとおり乾燥を行った(写真 3-1)。この 6 枚のテストピースは乾燥後に全乾法で含水率を調べ、乾燥中の含水率変化の経過を計算した。乾燥後、乾燥前の測定項目に加えて板材の曲がり、そり、カップ(幅 12cm)等を計測後(写真 3-2)、その中から 9 枚の試験体を選び、全乾法含水率及び水分傾斜を求めた。

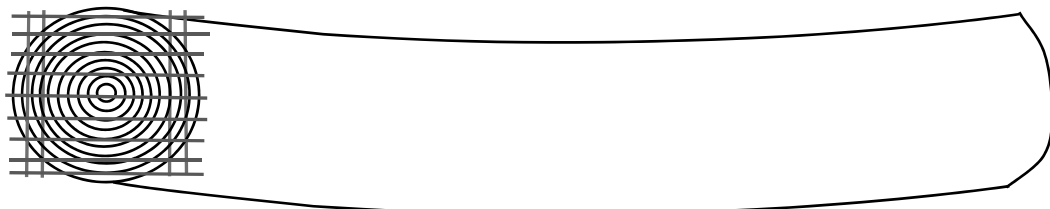


図 3-1 木取り

縦、横の順に挽く。径級により 1 本の丸太から取れる板の枚数は異なる



写真 3-1 試験を行った蒸気式乾燥機



写真 3-2 乾燥後計測

3.3.3 試験の結果と考察

(1) 原木計測結果

原木を計測した結果を表 3-1~3-4 に示す。

表 3-1 ミズナラ年輪密直材

No.	材長 (mm)	平均心材径 (cm)		平均直径 (cm)			心材率 (%)		材積 (m ³)	平均年輪幅 (mm)		
		末口	元口	末口	元口	平均	末口	元口		末口	元口	平均
1	2098	20.50	21.50	29.05	29.65	29.35	49.8	52.6	1.771	5.3	3.8	4.5
2	1971	19.00	20.75	23.95	25.65	24.80	62.9	65.4	1.131	3.7	2.8	3.2
3	2021	22.50	22.75	28.55	29.60	29.08	62.1	59.1	1.647	3.6	3.5	3.5
4	2192	20.80	27.00	26.75	34.85	30.80	60.5	60.0	1.569	3.8	3.7	3.8
5	2035	21.65	27.50	25.65	33.25	29.45	71.2	68.4	1.339	3.1	3.2	3.1
6	2043	18.50	18.40	22.15	24.45	23.30	69.8	56.6	1.002	3.8	2.6	3.2
26	2110	28.25	36.50	32.50	44.50	38.50	75.6	67.3	2.229	4.0	4.7	4.4

表 3-2 ミズナラ年林疎

No.	材長 (mm)	平均心材径 (cm)		平均直径 (cm)			心材率 (%)		材積 (m ³)	平均年輪幅 (mm)		
		末口	元口	末口	元口	平均	末口	元口		末口	元口	平均
7	2085	19.25	20.75	28.00	30.40	29.20	47.3	46.6	1.635	11.2	10.9	11.0
8	2190	18.45	19.00	24.95	26.75	25.85	54.7	50.4	1.363	8.6	6.4	7.5
9	2113	31.75	31.25	40.00	40.75	40.38	63.0	58.8	3.381	8.3	7.7	8.0
10	2020	18.25	18.00	25.65	28.90	27.28	50.6	38.8	1.329	11.6	9.9	10.7
11	2190	21.00	21.50	28.75	30.75	29.75	53.4	48.9	1.810	7.4	7.2	7.3
12	2125	15.50	13.50	22.40	23.75	23.08	47.9	32.3	1.066	7.4	5.9	6.7

表 3-3 コナラ

No.	材長 (mm)	平均心材径 (cm)		平均直径 (cm)			心材率 (%)		材積 (m ³)	平均年輪幅 (mm)		
		末口	元口	末口	元口	平均	末口	元口		末口	元口	平均
13	1986	17.65	40.25	31.25	48.80	40.03	31.9	68.0	1.939	6.5	9.6	8.0
14	2040	21.50	17.75	31.90	32.50	32.20	45.4	29.8	2.076	7.6	8.1	7.9
15	2095	20.00	16.75	27.00	29.75	28.38	54.9	31.7	1.527	7.1	7.6	7.4
16	2085	24.50	24.85	31.75	32.50	32.13	59.5	58.5	2.102	7.7	7.9	7.8
17	2087	23.75	23.50	34.00	36.70	35.35	48.8	41.0	2.413	6.8	6.7	6.7
18	2080	35.50	37.50	41.00	46.00	43.50	75.0	66.5	3.496	6.3	6.8	6.5
19	2072	16.00	29.00	31.75	41.75	36.75	25.4	48.2	2.089	7.1	7.9	7.5
20	2030	26.75	25.50	34.50	34.80	34.65	60.1	53.7	2.416	7.7	6.8	7.2
21	2028	18.75	21.00	28.50	31.90	30.20	43.3	43.3	1.647	7.7	8.2	7.9
22	2028	19.50	20.00	32.00	33.50	32.75	37.1	35.6	2.077	8.0	7.0	7.5

表 3-4 ミズナラ年林密曲がり材

No.	材長 (mm)	平均心材径 (cm)		平均直径 (cm)			心材率 (%)		材積 (m ³)	平均年輪幅 (mm)		
		末口	元口	末口	元口	平均	末口	元口		末口	元口	平均
23	2138	28.50	32.00	37.00	41.75	39.4	59.3	58.7	2.927	4.6	5.2	4.9
24	2443	21.40	23.00	23.65	29.10	26.4	81.9	62.5	1.366	3.2	3.7	3.4
25	2185	23.50	27.25	31.00	34.00	32.5	57.5	64.2	2.100	3.4	4.1	3.8

(2) 100°C急速乾燥試験の結果

100°C急速乾燥試験の結果を表 3-5 に示す。太字のものがある項目において、他のものと比較して一番損傷が激しいもしくは、断面変形が大きい試験体である。主にコナラ材で状態が悪い材が見られた。その結果から求められた標準乾燥スケジュールを表 3-6 に示す。糸巻き状断面変形するものが多くそれが決定要因となった(写真 3-3)。

写真 3-3 100°C急速乾燥試験断面変形



表 3-5 100°C急速乾燥試験結果

名前	初期割れ段階	内部割れ段階	糸巻き段階
ミズナラ年輪疎 7-2	2	2	4
ミズナラ年輪疎 9-10	2	3	4
ミズナラ年輪疎 11-4	2	1	3
ミズナラ年輪密直 2-7	2	1	3
ミズナラ年輪密直 4-2	2	1	3
ミズナラ年輪密直 6-2	2	3	4
コナラ 13-9	-	2	3
コナラ 15-5	3	2	4
コナラ 19-10	3	4	4

表 3-6 ナラ類乾燥スケジュール

含水率区分(%)	DBT(°C)	WBT(°C)	温度差
~40	50	47	3
40~35	50	46	4
35~30	50	44	6
30~25	55	44	11
25~20	60	40	20
20~15	65	37	28
15~終末	70	42	28
送風	0	0	0
イコライジング	70	62	8
コンディショニング	70	65	5

(3) 乾燥経過と仕上がり含水率

乾燥スケジュールと全乾法含水率経過等を図 3-2 に示す。テストピースではどの材についても含水率は目標の 10%程度を満たした。本試験ではコナラが最も初期含水率が高かった。

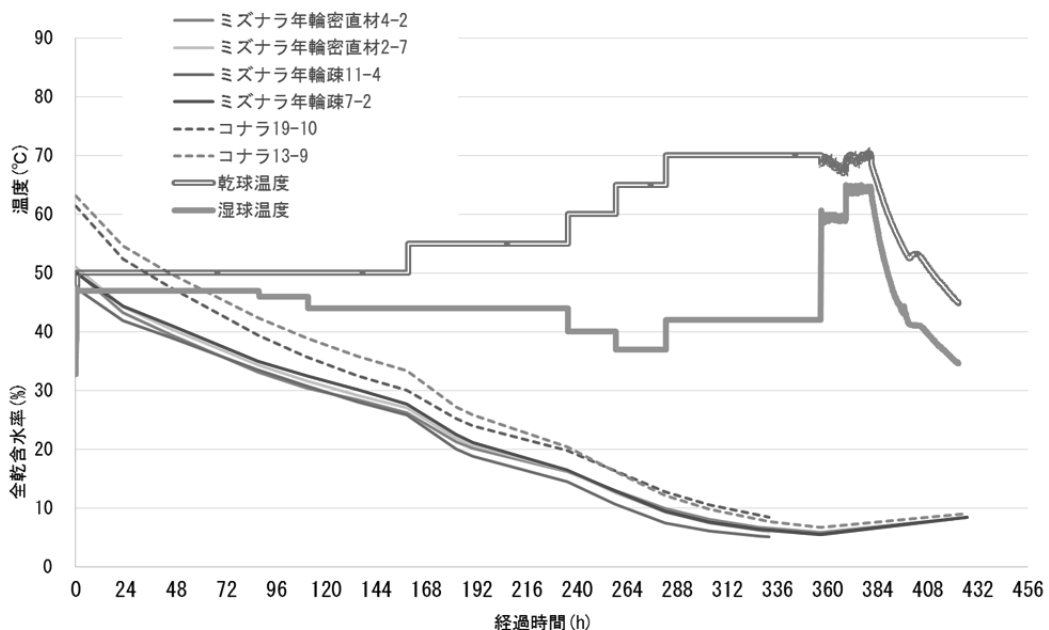


図 3-2 乾燥温度経過及び全乾法によるテストピースの推定含水率経過

(4) 乾燥後の計測結果

乾燥後の板材計測項目の平均値について表 3-7 及び表 3-8 にまとめた。全乾法含水率は平均全ての材において目標含水率 10%を下回った。曲がりにはコナラが一番大きく 9.4mm/2m, 反りはミズナラ年輪密曲がり材の 5.4mm/2m, カップはミズナラ年輪疎の 2.2mm/12cm が最も大きかった。また, 材面

割れはミズナラ年輪疎が最も多い割合で発生した。(写真 3-4)。

全乾密度についてはコナラが最大となり, ミズナラ年輪密曲がり材が一番低くなった。しかし, ミズナラ年輪密曲がり材は計測体数が 1 枚だけであるため, 信頼性は低いと思われる。

表 3-7 各測定項目の平均値 1

区分	平均年輪幅 (mm/年輪数)	曲がり (mm/2m)	反り (mm/2m)	カップ (mm/12cm)	割れ (cm)
ミズナラ年輪密	3.7 (3.1~4.5)	7.1 (0~21)	4.6 (0~11)	1.4 (0.1~3.6)	2.0 (10~50)
ミズナラ年輪疎	8.5 (6.7~11.0)	7.6 (4~20)	3.7 (0~7)	2.2 (0~5.4)	11.1 (9~126)
コナラ	7.5 (6.5~8.0)	9.4 (0~30)	4.3 (0~10)	1.6 (0.1~5.7)	4.4 (4~131)
ミズナラ年輪密曲がり材	4.0 (3.4~4.9)	8.2 (3~20)	5.4 (0~13)	1.2 (0~4.6)	0

※()内の数値は最小値~最大値

表 3-8 各測定項目の平均値 2

区分	材面割れ割合 (材面割れ本数/全本数)	全乾法 含水率(%)	収縮率(%)		全乾密度 (g/cm ³)
			幅	厚さ	
ミズナラ年輪密	5/69	9.3 (9.3~9.5)	7.11 (3.70~10.13)	7.10 (2.05~11.87)	0.727 (0.677~0.794)
ミズナラ年輪疎	14/48	9.1 (8.8~9.3)	7.74 (3.21~12.81)	8.34 (2.56~16.56)	0.745 (0.647~0.800)
コナラ	24/164	9.8 (8.8~10.4)	9.11 (3.00~16.96)	6.58 (2.04~18.52)	0.813 (0.681~0.894)
ミズナラ年輪密曲がり	0/38	9.5 (1本のみ)	6.88 (3.67~10.61)	6.28 (2.41~12.67)	0.671 (1本のみ)

写真 3-4 乾燥後板の写真, 計測状況写真



曲がり，反り，カップについて，それぞれの出現割合を調査し，テューキークレーマー法により検定を行った結果は以下のとおりとなった。

曲がりの平均値は，コナラが一番大きく9.4mm/2mで，平均値を小さい方から順にミズナラ年輪密直くミズナラ年輪疎くミズナラ年輪密曲がり材くコナラであった。コナラの数値はミズナラ年輪密直材とのみ有意差があった。

反りの平均値はミズナラ年輪密曲がり材が一番大きく5.4mm/2mで，平均値を小さい方から順にミズナラ年輪疎くコナラくミズナラ年輪密直くミズナラ年輪密曲がり材であった。ミズナラ年輪密曲がり材の値はミズナラ年輪疎とコナラの平均値と有意差があった。

カップの平均値はミズナラ年輪疎が一番大きく2.2mm/12cmで，平均値は小さい方から順にミズナラ年輪密曲がり材くミズナラ年輪密直くコナラくミズナラ年輪疎だった。ミズナラ年輪疎の数値はミズナラ年輪密直材，コナラ，ミズナラ年輪密曲がり材の平均値と有意差があった。

幅収縮率の平均値はコナラが9.11%で最も大きかった。一方，厚さ収縮率の平均値ではミズナラ年輪疎が8.34%で最大だった（図3-3）。

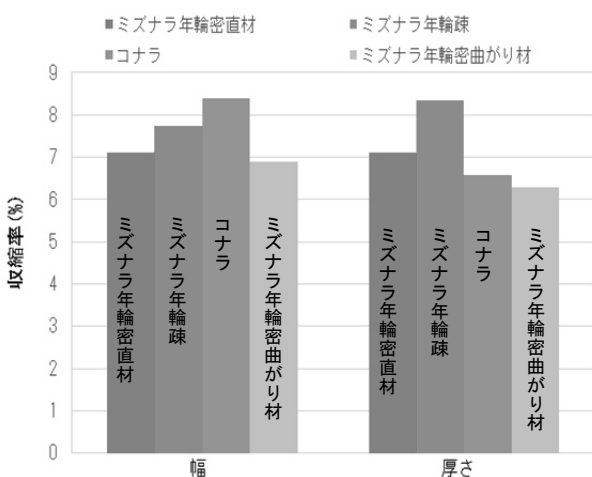


図 3-3 収縮率平均値比較

図3-4～3-6に全乾含水率及び水分傾斜を示す。なお，ミズナラ年輪密直材と曲がり材は同じ図3-4で表している。それぞれ平均含水率は直材が9.3%，曲がり材が9.5%であった。

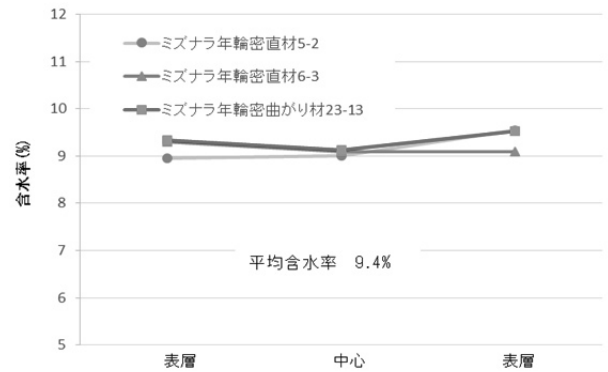


図 3-4 ミズナラ年輪密の平均含水率と水分傾斜

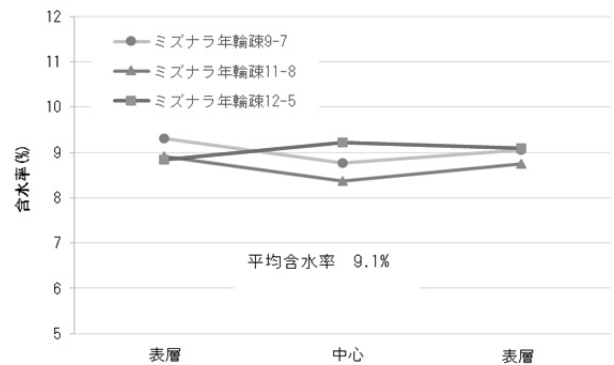


図 3-5 ミズナラ年輪疎の平均含水率と水分傾斜

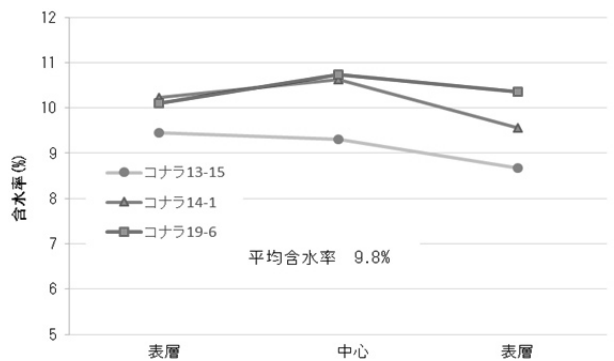


図 3-6 コナラの平均含水率と水分傾斜

(5) 製材歩留まりについて

征矢野建材株式会社のモルダー仕上げでの曲がりとカップの基準値を表3-9に示す。モルダー仕上げ1回で仕上がる材をa、2回で仕上がる材をb(aは含まない)として、表3-9に従い求めた原木材積に対する乾燥後の材積歩留まりについて求めた。

その結果は、表3-10~3-13のとおりである。歩留まりが高い順に、ミズナラ年輪密直材>ミズナラ年輪密曲がり材>コナラ>ミズナラ年輪疎であった。ミズナラ年輪疎以外では歩留まりはaとb合計で20%台であったが、ミズナラ年輪疎では11%と明らかに他と比べても低い値が出た。これは、

乾燥後に計測する際に材の腐食や欠損のため除いた板の枚数の割合が多かった(ミズナラ年輪疎31.4%, ミズナラ年輪密直材16.9%, コナラ12.2%, ミズナラ年輪密曲がり材15.6%)ことが大きな理由であると思われる。

表3-9 ウッドパークモルダー仕上げ回数の基準値

モルダー仕上げ回数	曲がり (mm/2,000mm)	カップ (mm/12cm)
1回(a)	曲がり ≤ 7mm	カップ ≤ 1.5mm
2回(b)	7mm < 曲がり ≤ 12mm	1.5mm < カップ ≤ 2mm

表3-10 ミズナラ年輪密直材歩留まり

No.	原木体積 (m³)	原木末口径 (cm)	原木曲がり (mm/200mm)	平均年輪幅 (mm)	a材積 (m³)	a歩留まり (%)	b材積 (m³)	b歩留まり (%)	a+b合計材積 (m³)	a+b合計歩留り (%)
1	1.771	29.1	30	4.5	0.255	14.4	0.251	14.2	0.506	28.6
2	1.131	25.7	15	3.2	0.061	5.4	0.183	16.2	0.244	21.6
3	1.647	28.6	27	3.5	0.239	14.5	0.173	10.5	0.412	25.0
4	1.569	26.8	13	3.8	0.198	12.6	0.264	16.8	0.462	29.5
5	1.339	25.7	43	3.1	0.118	8.8	0.179	13.4	0.297	22.2
6	1.002	24.5	25	3.2	0.188	18.8	0	0	0.188	18.8
26	2.229	32.5	30	4.4	0.627	28.1	0.442	19.8	1.069	48.0
平均	1.527	27.5	26	3.7	0.241	14.7	0.213	13.0	0.454	27.6

表3-11 ミズナラ年輪密曲がり材歩留まり

No.	原木体積 (m³)	原木末口径 (cm)	原木曲がり (mm/2,000mm)	平均年輪幅 (mm)	a材積 (m³)	a歩留まり (%)	b材積 (m³)	b歩留まり (%)	a+b合計材積 (m³)	a+b合計歩留り (%)
23	2.927	37.0	95	4.9	0.110	3.8	0.485	16.6	0.595	20.3
24	1.366	23.7	70	3.4	0.200	14.6	0.136	10.0	0.336	24.6
25	2.100	31.0	63	3.8	0.254	12.1	0.454	21.6	0.708	33.7
平均	2.131	30.6	76	4.0	0.188	10.2	0.358	16.0	0.546	26.2

表3-12 ミズナラ年輪疎歩留まり

No.	原木体積 (m³)	原木末口径 (cm)	原木曲がり (mm/2,00mm)	平均年輪幅 (mm)	a材積 (m³)	a歩留まり (%)	b材積 (m³)	b歩留まり (%)	a+b合計材積 (m³)	a+b合計歩留り (%)
7	1.635	28.0	30	11.0	0.233	14.3	0.062	3.8	0.295	18.0
8	1.363	25.0	35	7.5	0	0	0	0	0	0
9	3.381	40.0	32	8.0	0.060	1.8	0.243	7.2	0.303	9.0
10	1.329	25.7	40	10.7	0.125	9.4	0	0	0.125	9.4
11	1.810	28.8	35	7.3	0.200	11.0	0.132	7.3	0.332	18.3
12	1.066	22.4	37	6.7	0.061	5.7	0.062	5.8	0.123	11.5
平均	1.764	28.3	35	8.5	0.113	7.0	0.083	4.0	0.196	11.0

表 3-13 コナラ歩留まり

No	原木体積 (m ³)	原木末口径 (cm)	原木曲がり (mm/2.00mm)	平均年輪幅 (mm)	a 材積 (m ³)	a 歩留まり (%)	b 材積 (m ³)	b 歩留まり (%)	a+b 合計材積 (m ³)	a+b 合計歩留り (%)
13	1.939	31.3	70	8.0	0.242	12.5	0.294	15.2	0.536	27.6
14	2.076	31.9	28	7.9	0.354	17.1	0.181	8.7	0.535	25.8
15	1.527	27.0	33	7.4	0.242	15.8	0.060	3.9	0.302	19.8
16	2.102	31.8	32	7.8	0.122	5.8	0.316	15.0	0.438	20.8
17	2.413	34.0	36	6.7	0.249	10.3	0.124	5.1	0.373	15.5
18	3.496	41.0	31	6.5	0.811	23.2	0.239	6.8	1.050	30.0
19	2.089	31.8	30	7.5	0.24	11.5	0.058	2.8	0.298	14.3
20	2.416	34.5	32	7.2	0.31	12.8	0.423	17.5	0.733	30.3
21	1.647	28.5	35	7.9	0.183	11.1	0.058	3.5	0.241	14.6
22	2.077	32.0	25	7.5	0.061	2.9	0.414	19.9	0.475	22.9
平均	2.178	32.4	35	7.5	0.281	12.3	0.217	9.9	0.498	22.2

(6) まとめ

ミズナラ及びコナラについて乾燥試験を行った結果、次の結論を得た。

- ①100℃急速乾燥試験ではコナラが全ての項目で最も状態が悪い材となり、乾燥スケジュールを決める因子となった。
- ②全乾法含水率は全ての樹種において目標の10%を下回っており(9.5%前後)、水分傾斜も中心と表層で大きな差はなかった。
- ③曲がりにはコナラ材が平均 9.4mm/2m と最も大きく、ミズナラ年輪密直材とのみ有意差があった。
- ④反りはミズナラ年輪密曲がり材が平均 5.4mm/2m と最も大きく、ミズナラ年輪密直材を除いた他2種と有意差があった。
- ⑤カップはミズナラ年輪疎が平均 2.2mm/12cm と最も大きく、他3種と有意差があった。
- ⑥材面割れはミズナラ年輪疎で最も多く発生した。
- ⑦全乾密度はコナラが最大で平均 0.813g/cm³ だった。また、ミズナラ年輪密直材は 0.727g/cm³、ミズナラ年輪疎が 0.745g/cm³、ミズナラ年輪密曲がり材が 0.671g/cm³ だった。
- ⑧収縮率について、幅方向はコナラの平均 9.11%、厚さ方向はミズナラ年輪疎の 8.34% がそれぞれ最大であった。

年輪の密及び疎なミズナラとコナラの原木の製材から乾燥までを行い、各特性を明らかにすることが出来た。この中で、成長(年輪幅)が概ね同程度のコナラとミズナラを比較した場合、曲がりについてはコナラがやや大きくなり、カップについてはミズナラがやや大きくなった。また、収縮率や全乾密度については大きな差は見られなかった。以上の結果から、コナラはミズナラと比較して製材歩留まりが悪いという点について、明確な結論を得ることはできなかった。

コナラ・ミズナラ等のナラ類を利用する際は全体として曲がりやカップ等が大きく、長尺材や幅広材としての利用はあまり適さないものと思われるため、短尺材や幅の狭い材としての利用が望ましいと思われる。

3.4 ナラ枯れ被害丸太の利用法の検討

3.4.1 目的

くん蒸処理したナラ枯れ被害木を薪等で利用するためには、カーバム剤の硫黄成分の残留が問題となる。そこで、薬剤残留濃度が検出限界となる時期を把握するため、くん蒸処理後に被覆シートを除去した場合のカーバム剤濃度の変化を調査した。また、ナラ枯れ被害材をフローリング材として利用する可能性を探るために実施した被害丸太の製材歩留まりと、被害丸太を小割し、薪に加工した場合の含水率経過について調査した。

3.4.2 方法

(1) くん蒸剤残留濃度試験

北安曇郡白馬村岩岳のミズナラ被害材8本(長さ1m, 中央直径15~30)を供試材として3段に集積し, カーバムナトリウム塩くん蒸剤で常法(シート被覆, 被覆内容積1m³あたり薬剤量750ml, 2週間くん蒸)により処理してから被覆を除去した。供試材の上段, 中段, 下段のそれぞれから電動ドリルで樹皮を含めて木部20g以上を薬剤分析用試料として採取し, ガスクロマトグラフによりくん蒸処理剤の有効成分であるメチルイソチオシアネート(以下, MITC)の残留濃度を測定した。試料採取は被覆除去直後(5月24日), 1ヶ月後(6月25日), 5ヶ月後(10月22日)に行ない, 残留濃度測定はサンケイ化学株式会社において実施した。

(2) 被害丸太の製材及び歩留まりの計算

枯死後1年未満のミズナラ被害丸太3本(長さ2m, 元口径21~29cm, 末口径17~28cm, 合計材積0.25m³)を供試材とした。製材は, 当センターの送材車付帯鋸盤を用い, 側面定規挽きで, 12mm厚のムク縦継フローリングに仕上げることを想定し, 18mm厚の板計26枚に粗挽きした。なお, 大型フローリング工場ではギャングソー等で同時に複数の板に製材することが考えられるが, 今回はシングルの帯鋸で製材したため, 材中心部は厚板のままで, 歩留まり計算上は両側から18mmの板を採材するものと仮定した。製材歩留まりは, 粗挽き板から虫孔部分を除き, 幅100mm以上で長さ300mm以上のフローリング原板を, 採材可能な最大寸法で製材するものとして試算した(写真4-1)。また, 粗挽き後の板に虫孔は無いものと仮定した場合の歩留まりも同時に試算した。なお, 節部分は欠点として除くことはせず採材可能面積に含めて歩留まり計算を実施した。

写真4-1 虫孔を除いた場合の採材



(3) 被害材薪の含水率経過

枯死後1年未満のコナラ被害材丸太9本(径16~35cm前後, L=1.1m)の中央から円板を2枚採取し, 1枚はそのまま, もう1枚は心材・辺材に分割し, 全乾法で含水率を求めた。また, 二分した丸太の一方はそのまま, もう一方は4~9つに小割し, 薪に加工した状態で平成23年2月から林業総合センターの木材試験棟の軒下で風乾し, 1ヶ月に1回程度, 約3か月間重量測定を継続した。その後, カシノナガキクイムシ(以下カシナガ)の羽化時期前に丸太・薪それぞれ別々の遮光シートで被覆し, 脱出するカシナガをトラップで捕捉してその頭数を調べることにした。

3.4.3 結果と考察

(1) くん蒸剤残留濃度試験

採取位置ごとのMITC残留濃度の変化を表4-1に, 試験期間中の気象条件を表4-2に示す。くん蒸処理剤の有効成分であるMITCの平均残留濃度は, 被覆除去直後では上段2.79ppm, 中段0.95ppm, 下段0.03ppmであり, 薬液が直接かかりやすい上段が薬液のかかりにくい下段に比べて高かった。しかし, 今回の気象条件においては, 被覆除去1ヶ月後, 5ヶ月とのMITC残留濃度は, 全ての試料で検出限界(0.01ppm)未満となっていた。

供試材は, 処理後被覆を除去し, 風雨にさらした状態であったことから, 樹皮などに残留していた薬剤は風雨により流亡したものと考えた。このことから, くん蒸処理木は被覆除去直後には薬剤が残留しているが, 5月に薬剤処理を行い被覆除去した場合1ヶ月程度で風雨により薬剤は流亡し, 薪などとして利用しても問題ないと判断された。

表4-1 採取位置ごとのMITC残留濃度の変化

試料採取日	MITC分析平均値(ppm)		
	上段	中段	下段
5月24日	2.79	0.95	0.03
6月25日	<0.01	<0.01	<0.01
10月22日	<0.01	<0.01	<0.01

表4-2 試験期間中の気象条件

月	気温(°C)			最高気温(°C)	最低気温(°C)	降水量(mm)	降水日数(日)
	平均	最高	最低				
5	13.5	21.1	7.9	26.6	-0.8	55.5	16
6	17.8	24.9	13.1	30.3	9.8	141.0	13
7	22.5	28.7	18.6	33.8	14.6	190.5	15
8	23.7	31.2	19.0	34.6	15.8	78.5	11
9	20.0	27.2	15.7	31.6	9.4	146.0	10
10	11.9	18.9	7.4	25.3	1.6	77.0	9

(2) 被害材丸太の製材歩留まり

虫孔部分を除いた場合に利用可能なフローリング原板は幅 100～149mm, 長さは 300～2002mm, 計 34 枚で, 総面積は 2.34m²であった。一方, 虫孔が無いと仮定した場合のフローリング原板は幅 100～185mm, 長さは 1000～2000mm, 計 25 枚で, 総面積は 6.22m²であった。結果, 原板段階での製材歩留まりは虫孔部分を除いた場合に 16.6%, 虫孔が無いと仮定した場合は 44.1%でカシナガの虫孔によって大幅に歩留まりが低下していた。さらに, 節や, 乾燥による変形・割れ等による歩留まり低下も考慮すると, 最終製品時の歩留まりは一段と低下することが予想され, ナラ枯れ被害材をフローリング材として活用することは現実的でないと考えられた。

(3) 被害材薪の含水率経過

コナラ被害材丸太から採取した円板の含水率は約 75%であったが, 二分した後, 小割して薪に加工した被害材の含水率は 3 か月後に 30%前後まで低下していた。一方, 丸太のまま風乾した被害材の含水率は 50%弱迄の低下に留まり, 乾燥速度に明らかに違いが認められた (表 4-3)。

なお, カシナガの脱出は, 丸太・薪ともに観察されなかった。カシナガの密度がそれほど高くなかったため, 生息環境悪化の影響を受けやすかったのではないかと考えられる。被害木の乾燥促進が被害拡大防止に効果があるのは確かであると思われるが, 実用化に当たっては, カシナガの拡大防止効果と, 薪として流通させるのに適正なサイズ, 効率的な加工方法等についてさらなる検討が必要である。

表 4-3 被害材丸太及び小割薪の含水率経過

種・No.	月・日				備考	
	2.14	3.25	4.19	5.22		
丸太	B41	73.1	61.9	54.6	46.3	
	B42	79.1	64.0	55.5	46.9	
	B43	76.1	60.9	54.1	47.3	
	B44	73.8	61.9	56.2	48.3	
	B45	75.5	60.0	53.5	46.5	
	B46	77.9	63.0	57.3	50.2	
	B47	69.7	59.1	57.0	51.0	
	B48	75.8	61.8	56.2	49.3	
	B49	76.0	64.4	59.2	53.5	
	平均	75.2	61.9	56.0	48.8	
薪	C41	73.1	50.6	39.9	29.1	4分割
	C42	79.1	60.6	46.6	35.8	4分割
	C43	76.1	55.8	42.2	31.9	4分割
	C44	73.8	49.6	37.9	27.6	4分割
	C45	75.5	52.6	39.2	30.1	4分割
	C46	76.3	51.8	38.4	30.2	9分割
	C47	69.7	47.7	35.1	26.9	6分割
	C48	75.8	54.4	42.3	31.7	6分割
	C49	76.0	49.7	37.5	28.5	7分割
	平均	75.2	52.5	39.9	30.2	

4 結言

本研究では, ナラ枯れ被害情報のマッピングから被害樹種を推定したうえで被害拡大予測モデルの適合性を検討し, 被害材を含めた県産ナラ類の乾燥特性の把握及び利用技術の提案を行うことを目的とした。

県内のナラ類の分布とナラ枯れ被害の位置を GIS 上で重ね合わせて解析した結果, ミズナラが被害を受けやすい傾向があり, ミズナラが多く分布する北信地域では被害が激害化した。一方, コナラが多い県南部では被害の激増を免れていた。また, ナラ枯れ被害拡大予測モデルの適合性を検証するため, 県内のナラ枯れ被害が継続的に発生している地域において, 被害発生の中率を検討した結果, いずれの地域でも, 被害発生予測マップでナラ枯れが発生すると判定された箇所では 85.7%以上の高い中率で被害が発生した。

県産ナラ類の大径材利用については, 標準的な乾燥スケジュールを確立できた。しかし, 全体として曲がりやカップ等が大きく, 今回試験を行った末口径 30cm 以下のやや曲がりの多い中小径材原木においては, 長尺での利用は歩留まりの点で困難であり, 曲がり部の頂点での切断や節部を削除して使用する短尺での利用が示唆された。

今後は, 被害予測された地域のミズナラ大径材を短尺材等として積極的に利用していくことが防除と利用の両側面から重要と考えた。

5 謝辞

本試験の実行にあたり, 被害予測マップ作成にあたり技術的なご指導をいただいた (国研) 森林総合研究所の近藤洋史氏, 製材のご協力をいただいた (株) 百瀬木材, 征矢野建材株式会社, また, 各種調査にご協力いただいた (国研) 森林総合研究所伊神氏, サンケイ化学株式会社, 北信地域振興局林務課, 南信州地域振興局林務課, 木曾地域振興局林務課の関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

引用文献

1. ナラ枯れ被害拡大予測モデルの適合性と樹種別被害の把握(1,2章)

- 石川県林業試験場(2005)よくわかる石川の森林・林業技術No.4 ナラ集団枯損被害と森林の変化:15.
- 岡田充弘ら(2009):ナラ類集団枯死被害防止技術と評価法の開発. 長野県林業総合センター研究報告23:27-36
- 岡田充弘ら(2011)カシノナガキクイムシ等広葉樹類の昆虫被害防除技術に関する研究-カシノナガキクイムシによるナラ類枯損被害-. 長野県林業総合センター研究報告25:17-27
- Kubono, T. and Ito, S. (2002) *Raffaella quercivora* sp. nov. associated with mass mortality of Japanese oak, and the ambrosia beetle (*Platypus quercivorus*). *Mycoscience* 43:255-260.
- 黒田慶子(2012)ナラ枯れのメカニズムと対策. *GREEN AGE*39:4-7
- 小林正秀・野崎愛(2006)ナラ枯れ被害のモデル. *森林防疫* 52(11):137-147.
- 小林正秀(2006)ブナ科樹木萎凋病を媒介するカシノナガキクイムシ:187-212.
- 近藤洋史・加賀谷悦子(2014)ナラ枯れ被害発生ポテンシャルの広域空間分布. *森林防疫*Vol.63 No.6:221-224
- 近藤洋史(2012)ナラ枯れの被害発生予測. *GREEN AGE*39:12-14
- 森林総合研究所(2011)ナラ枯れに立ち向かう-被害予測と新しい防除法-:6
- 森林総合研究所関西支所(2007)ナラ枯れの被害をどう減らすか-里山林を守るために-:21.
- 布川耕市(2007)新潟県におけるナラ類集団枯損被害の地域分布と拡大経過. *新潟県森林研究所研究報告*48号:21-32.
- 山形県農林水産部森林課(2011)山形県のナラ枯れ被害と防除
- 山中武彦・近藤洋史(2014)最新ICTを活用したナラ枯れリアルタイム被害発生予測システムの開発. *森林防疫*Vol.63 No.6:253-256
- 林務部資料(2016)森林被害報告

2. 県産ナラ類(コナラ・ミズナラ)の製材及び乾燥特性の把握(3章)

- 伊神祐司, 吉田孝久(2014)木造住宅・木造公共建築物等の構造部材開発等支援事業①内装木質化等住宅部材試験開発等支援事業第2章無垢フローリングの高効率加工システムの検討:1-8
- 吉田孝久, 武井富喜雄ら(1987):未利用広葉樹の利用開発に関する研究, 長野県林業総合センター研究報告第3号, 13-20
- 吉田孝久, 橋爪丈夫(1993)中小径広葉樹の利用開発に関する材質的試験, 長野県林業総合センター研究報告第7号, 21-39
- 吉田孝久, 橋爪丈夫(2001)天然性広葉樹林の良質化施業技術と利用技術の開発, 長野県林業総合センター研究報告第15号, 34-47