浅間山カラマツ植物群落保護林の成長履歴および材質特性

安江　恒[1]・祇園紘一郎[1]・小林　元[1]・小野　裕[1]・井上　裕[1]
岡田充弘[2]・植木達人[1]
[1] 信州大学農学部
[2] 長野県林業総合センター

要　　約

国内最古と伝えられるカラマツ人工林において，24個体より成長錐コア試料を採取し，軟Ｘ線デンシトメトリにより年輪数，年輪幅，年輪内平均密度の時系列変動を測定した。年輪年代学的手法を適用して解析を行った。その結果，地上高50㎝における髄の形成年は1848～1858年の範囲であり，少なくとも10年間の差があった。当該林分は，同一樹齢の苗木を一斉に植える方法で造林されていなかった。年輪幅変動は1900年以降について，１㎜程度の年輪幅でほぼ一定に推移し，長期にわたり撹乱が無く林冠が閉鎖している林況を反映していた。年輪幅と年輪内平均密度との関係は小さく，被圧によって年輪幅が非常に狭くなった場合でも年輪幅の減少に伴う顕著な密度の低下は認められなかった。

キーワード：カラマツ，高樹齢，成長履歴，年輪幅，年輪内平均密度

１．はじめに

カラマツ（*Larix kaempferi*）は中部，関東，東北の比較的高い標高域における主要造林樹種であり，特に長野県では民有人工林面積の約半分を占める（長野県2010）。その大部分は拡大造林期に造林され，現在伐期に達しているが，木材価格の低迷などの要因により主伐は進まず，間伐を行ったうえでの長伐期化にならざるを得ない。このような状況下で，高樹齢化や，間伐が遅れた林分における造林木の材質と成長履歴の関係を把握することは重要である。

高樹齢となったカラマツ造林木の材質特性に関して，約70年生のカラマツ造林木の成熟材部では，年輪幅の増加に伴って晩材幅も増加し，肥大成長が促進されても密度が低下しないことが報告されている（Zhu et al 1998，中野ら1999）。また，定期的な間伐が行われた106年生カラマツ造林木において，同様に肥大成長量（年輪幅）の増加に伴う年輪内平均密の減少がないこと，採材した板材の強度性能に問題ないことが確認されている（朱ら2001）。一方で，間伐をしないために年輪幅が減少し，材質の低下が心配される。あまりに年輪幅が狭い場合には被圧材と呼ばれる低密度材が形成されることが知られている（Saiki and Kawake 1980）。したがって，高樹齢カラマツ造林木の年輪幅と密度の関係に関する知見を蓄積することは，今後の施業方針の検討に当たり重要である。

受付日　2012年１月６日
受理日　2012年２月９日

本研究における対象林分である浅間山カラマツ植物群落保護林は江戸時代末期の1850年頃，小諸藩によって植栽されたものと伝えられており，現存するカラマツ人工林としては国内最古と考えられている。一方で，その成長履歴を明らかにした報告はない。また，植物群落保護林の管理および整理方法についても情報不足のために指針がたてられていない。

そこで，１）当該林分の成立過程および成長履歴の解明，２）高樹齢カラマツ人工造林木の材質特性の把握を目的として研究を行った。

２．方　　法

2.1　調査地

長野県佐久市御代田町に位置する浅間山国有林36林班れ小班（36°21’N，138°30’E，標高1000m）内の「浅間山カラマツ植物群落保護林」（面積1.27 ha）を調査対象とした。本林分は，江戸時代末期の1850年頃，小諸藩によって植栽されたものと伝えられており，現存するカラマツ人工林としては国内最古と考えられている（中島2007）。また，ほぼ無施業のまま自然淘汰に任せて高齢期まで推移してきたと考えられている（中島2007）。

2.2　試料採取と測定

林内より，24個体を選木した。選木にあたっては，打撃振動法において腐朽がないと判断される個体の中から（小林ら2010），林内における位置の偏り，直径階の偏りがないように選択を行った。2009年11

図１　成長錐によるコア試料の採取

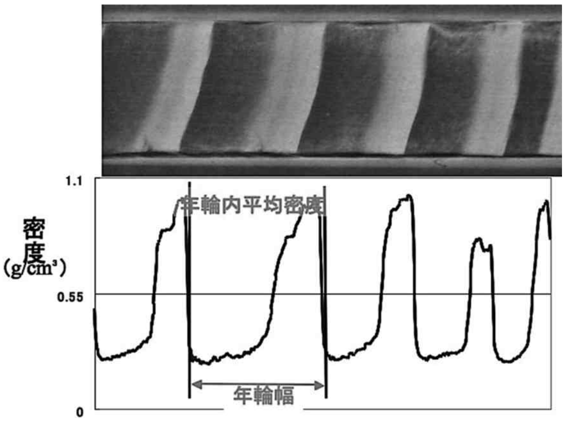

図２　軟Ｘ線デンシトメトリによる年輪幅および年輪内平均密度の測定
コア試料のＸ線写真（上）と対応する密度変化（下）

月19日に，地上高約50㎝において，２方向より成長錐コア試料（直径５㎜）を採取した（図１）。

採取したコア試料について，熱水抽出（約３日間），エタノール・トルエン抽出（約３日間）を行い，心材成分やヤニを取り除いた。ツインソーを用いて樹軸方向に1.6㎜の厚さに切削し，軟Ｘ線写真撮影を行った。撮影は恒温恒湿室（20℃，RH 60%，含水率12%に相当）にて軟Ｘ線照射装置（Softex EMBW，ソフテックス社）を用い，照射距離2.2m，管電圧20kV，管電流14mA，照射時間３分30秒にて行った。現像した撮影フィルム（Industrial X-ray Film IXFR，フジフイルム社）をスキャナ（GTX-900，セイコーエプソン社）にて画像データ（2400 dpi）として取り込み，解析ソフト（WinDendro 2004a，Regent Instruments 社）にて白黒濃度値を密度に換算し，年輪幅および年輪内平均密度を測定した（図２）。コア採取角度の問題等により。鮮明な軟Ｘ線像が得られなかった試料については，年輪幅のみを実体顕微鏡下で年輪幅測定装置（Tree Ring System，Velmex 社）を用いて測定した。個体間の年輪幅変動パターンを比較し，年輪の形成された正確な年を決定する年代照合（クロスデイティング）を行った。照合は目視（Stokes and Smiley 1968）および統計的手法（COFECHA プログラム，Holmes 1983，1994）を併用して行い，不連続年輪や欠損輪の検出（安江2011），試料の欠損等の確認を行った。得られた年輪幅および年輪内平均密度時系列について，不作為に４個体を選択し，個体ごとに年輪幅と年輪内平均密度の間の関係を散布図上にて検討した。

３．結果と考察

3.1　施業履歴

年代照合の結果，全ての個体について正確な年輪形成年代を照合できた。全試料の6427年輪中，欠損輪の出現は12年輪（出現率0.2%）であった。欠損輪は年輪幅の狭い領域で発生していた。採取した24個体のうち，内部腐朽が無く，かつ髄を含んで正確な髄形成年が判別できるコア試料は７個体分であった（表）。地上高約50㎝における髄形成年の最も古い個体は1848年，最も新しい個体は1858年と，10年間の差があった。内部腐朽が無く，かつ髄を含んでいない13個体について，最内年輪の湾曲の程度から髄形成年を主観により推定したところ，1853～1861年であった。供試木番号240についてのみ最内年輪は1953年であり，戦後に新たに植栽された個体であった。

いずれの個体も髄付近の年輪幅は広く，被圧などを受けることなく十分な初期成長が行われていた。したがって，供試木の髄形成年に認められる10年程度の差は，同一樹齢木が地上高50㎝に到達するまでの初期成長量の差によって生じたのではなく，個体ごとの樹齢の違いに起因することが示唆される。

年輪幅変動について，更新当初は旺盛な成長を示し，その後，徐々に低下する傾向を示した（図３）。1900年頃以降は0.2～１㎜程度と非常に成長量が低い状態が現在まで続いた。多くの個体において，一斉に数年間にわたり成長量が増加する現象は認められず，散発的に一部の個体で年輪幅の一時的な増加

表　高樹齢カラマツ供試木の年輪数，年輪幅および

	供試木番号	胸高直径 (cm)	髄形成年[1)]	最内測定年輪	推定年輪数[2)]	平均年輪幅 (mm)	平均密度 (g/cm³)
1	20	39.0		1855	157	1.29	0.45
2	23	52.9		1866	149	1.30	0.44
3	41	62.7		1858	154	2.15	0.46
4	42	48.8		1857	156	1.22	0.51
5	50	61.4		1859	154	2.05	0.52
6	76	62.6		1859	154	1.51	0.56
7	78	54.1		1860	153	1.55	0.52
8	87	41.0	1849	1850	161*	1.04	0.48
9	101	51.3	1852	1853	158*	2.02	0.47
10	102	35.0		1859	156	0.89	0.54
11	117	72.8	1853	1854	157*	1.52	0.41
12	131	61.3	1848	1857	162*	1.74	0.41
13	152	56.7		1873	－	1.14	0.46
14	157	53.9		1859	154	1.41	－
15	158	44.0		1859	156	0.92	0.50
16	165	46.3		1857	156	1.18	－
17	179	62.9		1861	151	1.40	0.57
18	191	72.0	1858	1859	152*	1.75	0.45
19	197	51.3		1864	149	2.02	0.44
20	211	37.9	1851	1854	159*	1.29	0.57
21	225	40.9		1878	－	0.87	－
22	227	53.5		1877	－	1.00	0.43
23	238	64.2		1866	150	2.28	0.49
24	240	27.1	1953	1954	57*	2.37	0.54

1）採取したコア試料において髄が確認できた場合の年輪の形成年
2）最内年輪の湾曲より主観的に推定した髄の形成年。*は髄が確認できたため，正確な年輪数である。

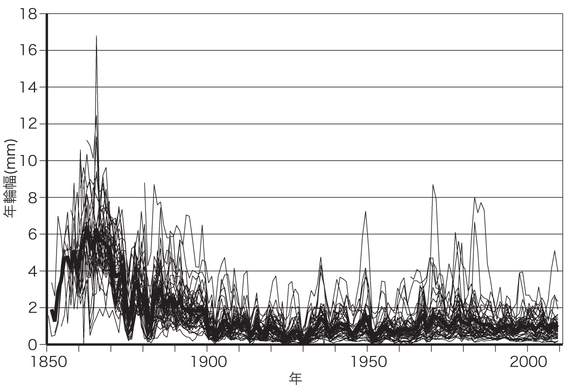

図３　年輪幅の時系列変動
太線は平均値を示す

が認められた。

当該林分は，現在の植林のように同一樹齢の苗木を一斉に植えたものではなく，異なる樹齢の山取苗を植えた，数年間にわたって植栽または補植を行った，天然更新木を育成した等の可能性がある。カラマツの育苗技術が確立普及したのは1870年代になってからであり（長野県1978），それ以前は付近の天然林からの山引き苗が利用されていたとの従来の認識（中島2007）を裏付ける結果と言える。加えて，本研究で得られた10年間の差は，異なる樹齢の苗木の利用や補植の可能性をも示唆するものと言える。

年輪幅変動より，まとまった間伐などの施業は1900年以降には行われていないと推察される。一部個体での一時的な成長増加は，隣接する個体の枯死，風倒，局所的な伐採などにより，一時的な光環境の改善が原因であると予想される。

3.2　年輪内平均密度の変動

年輪内平均密度には，連続的な減少傾向は認められなかった（図４）。４個体について，年輪幅と年輪内平均密度の関係を散布図上にて対比したところ，１個体を除き，有意な相関は認められなかった（図５）。２㎜以下の狭い年輪に着目すると，年輪内平均密度の分散が大きくなったが，年輪幅が非常に狭くなった場合に密度の低い年輪が形成される傾向は認められなかった。

一般的に針葉樹においては，年輪幅の増加に伴い密度が低下することが知られている（加納1973）。しかしながら，カラマツの成熟材部では年輪幅の増

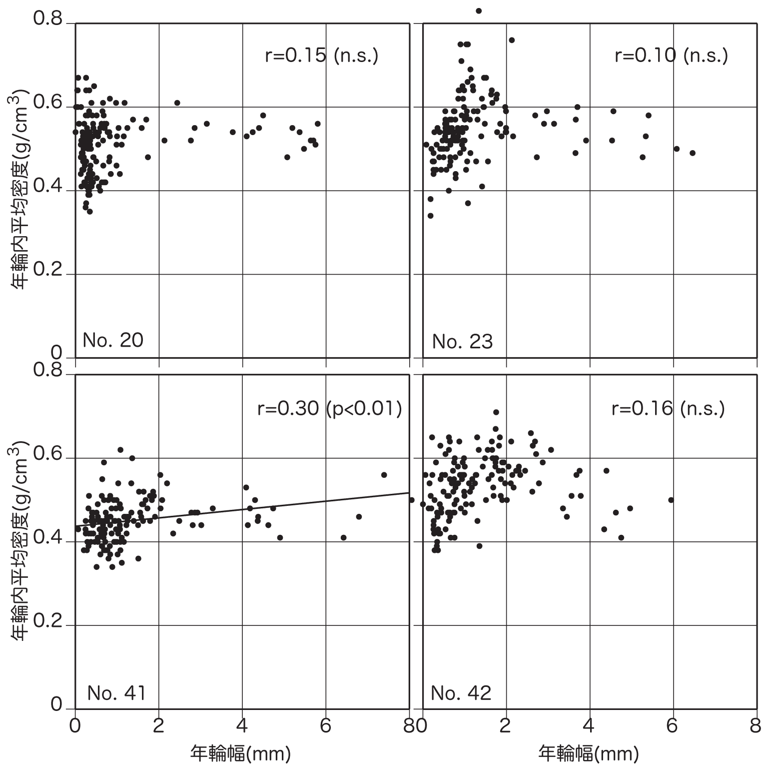

図 5　年輪幅と年輪内平均密度との関係
左下は個体番号を示す。4 個体は無作為に選択した

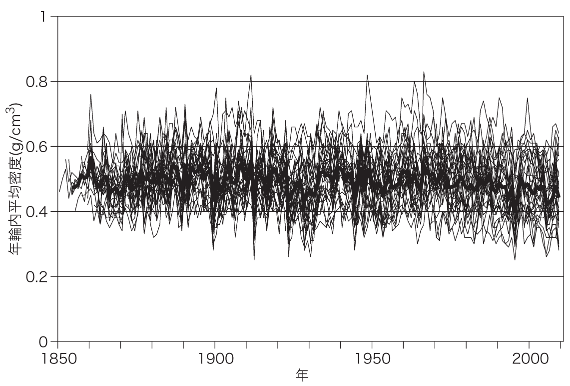

図 4　年輪内平均密度の時系列変動
太線は平均値を示す

加に伴う密度減少が認められず，強度性能の低下も生じないことが報告されている（Zhu et al 1998, 2000 中野ら1999，朱ら2001）。本研究においても年輪幅の増加に伴う年輪内平均密度の減少は認められず，既報と整合的であった。一方，Zhu et al（2000）の報告においては，寺崎式 B 種間伐が実施された林分での供試木であり，被圧に伴う狭い年輪における密度変化は十分に検討されていない。針葉樹において，年輪幅が著しく狭い場合には，細胞壁が十分に肥厚しないため生じる被圧材（starved wood）と呼ばれる密度の低い木部が形成される場合がある（Saiki and Kawake 1980）。本研究で対象とした高樹齢カラマツ材では，未施業に伴う年輪幅の狭い木部が形成されていたが，年輪幅の減少に伴う顕著な密度の低下は認められなかった。従って，年輪幅の低下が密度低下に直結しているとは言えない。

林令150年を越え，かつ間伐未実施の高樹齢カラマツ造林木において，密度の顕著な低下が認められないことが明らかとなったことから，間伐遅れによる高立木密度林分においても材質の顕著な低下は無く，間伐による成長促進による材質低下も無いと言える。従って，現在生育しているカラマツ人工林について，適正な間伐，長伐期化により優良な木材の生産が期待できる。

謝　　辞

試料採取に当たり，信州大学農学部森林科学科森林環境学研究室の学生諸氏に協力いただいた。記して感謝の意を表する。本研究の一部は中部森林管理局による委託調査「浅間山カラマツ植物群落保護林管理調査事業」の一環として行われた。

引 用 文 献

Holmes, R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-Ring

Bull. 43 : 69–78.
Holmes, R.L. 1994. Dendrochronology program library version 1994. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson.
加納孟（1973）林木の材質．日本林業技術協会．167pp
小林元・岡田充弘・小野　裕・安江恒・井上裕・植木達人（2010）日本最古のカラマツ人工林における応力波伝播速度測定による生立木の腐朽診断．樹木医学研究，17：92–96
長野県（1978）信州カラマツ造林百年の歩み
長野県（2010）長野県森林づくり指針
中島耕平（2008）信州カラマツの長伐期大径材生産に向けた間伐技術および施業体系に関する研究—林業後発地域における人工林施業の展開と今後の課題—．信州大学大学院農学研究科修士論文
中野達夫・朱建軍・徳本守彦・武田孝志（1999）カラマツの成長と材質—手良沢山演習林産材の年輪構造，収縮率，曲げ強度—．信州大学農学部演習林報告，35：101–110
Saiki, H. and Kawake, M. 1980. Structure of starved wood in Akamatsu (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.). Mokuzai Gakkaishi 26 : 707–713.
安江恒（2011）年輪年代学．日本木材学会編「木質の構造」，文永堂出版，144–152
朱建軍・中野達夫・徳本守彦・武田孝志（2001）106年生カラマツ造林木の用材品質．木材工業，56：13–16
Zhu, J., Nakano, T. and Hirakawa, Y. (1998) Effect of growth on wood properties for Japanese larch (*Larix kaempferi*) : Differences of annual ring structure between corewood and outerwood. J. Wood Sci., 44 : 392–396
Zhu, J., Nakano, T. and Hirakawa, Y. (2000) Effects of radial growth rate on selected indices for juvenile and mature wood of the Japanese larch. J. Wood Sci., 46 : 417–422

Tree-ring records and wood quality of Japanese larch trees at the Asama vegetation preserve forest

Koh Yasue[1], Koichiro Gion[1], Hajime Kobayashi[1], Hiroshi Ono[1], Hiroshi Inoue[1], Mitsuhiro Okada[2] and Tatsuhito Ueki[1]
[1]Faculty of Agriculture, Shinshu University
[2]Nagano Prefecture Forestry Research Center

Summary

The tree-ring records of Japanese larch (*Larix kaempferi*) trees at the oldest plantation forest were analyzed by a dendrochronological technique. Increment cores from 24 trees were subjected to soft X-ray densitometry and both annual ring width and ring density were measured. The year of pith formation at 50 cm height from the ground were ranged over 10 years from 1848 to 1858. This indicated that the reforestation was not performed by planting same age nursery trees. The narrow and stable ring width series after 1900 indicated that few disturbance and closure of crowns. The annual ring densities revealed no relationship between ring widths. The ring density did not decline even though the ring width declined with suppression.