

東日本におけるブナ年輪幅暦年変動 パターンの広域ネットワーク構築

星野 安治^{1, 5)}・米延 仁志²⁾・安江 恒³⁾・
野堀 嘉裕⁴⁾・光谷 拓実⁵⁾

●キーワード：年輪年代学 (dendrochronology), ブナ (Japanese beech),
年輪幅暦年変動パターン (tree-ring chronology), ネットワーク (network),
指標年 (pointer year)

1. はじめに

樹木の年輪には、長い年月にわたる環境変動の履歴が記録されており、年輪の経年変動の指標である年輪幅や年輪内密度などは、樹種、地域ごとに固有のパターンを示す。暦年代が確定した広域に共通な年輪幅の経年変動を暦年標準パターンとよぶ(奈良国立文化財研究所, 1990; 以下, 奈文研)。この暦年標準パターンを用いて、年代不明の木質古文化財の暦年代を明らかにすることで、考古学や建築史学などの歴史科学研究に寄与することができる。日本における年輪年代学研究では、奈文研において、ヒノキやスギなど本邦産針葉樹材について長期にわたる暦年標準パターンの構築が行われ、古建築部材や遺跡出土木材の年輪年代測定への応用において多くの成果があげられている(光谷, 1987a, b; 奈文研, 1990; 光谷, 1995)。

年輪年代法は、考古学や歴史学における重要な絶対年代測定手法の一つである。年輪年代法では、統計的な誤差を持たない暦年代を得られる点が優れており、先史時代、歴史時代を問わず、正確な年代を求めることが可能

である。このことは、辺材部の欠損に起因する推定誤差を考慮してもなお、年輪年代法の重要な特徴である。一方、同じく考古学での適用が多い放射性炭素年代法では、計数誤差を持ち、さらに年輪による暦年較正(例えば, Reimer *et al.*, 2004)を要する。

年輪年代学が考古学分野に広く応用されているヨーロッパでは、主要樹種としてナラ (*Quercus spp.*) を対象とした研究が圧倒的多数を占める(例えば, Baillie, 1995)。一方、わが国は主要島嶼部に限っても、暖温帯から冷温帯に属し、より多様な種構成の森林生態系を有する。このことから、先史時代より極めて多種多様な木材利用がなされてきた(例えば, 山田, 1993; 島地・伊東, 1988)。とりわけ、農耕具、工具類あるいは服飾具などの民具類では、針葉樹材のみならず、様々な広葉樹材が用いられてきた。そのためわが国では、ヒノキ、スギなどの針葉樹材ばかりでなく、広葉樹材を用いた古文化財での年代測定のニーズは潜在的に高い。

本研究では、年輪年代学的研究の対象にブナ (*Fagus crenata* Blume) を選んだ。ブナは日本の冷温帯における代表的な広葉樹であり、主として中部日本から東北、

¹⁾ 京都大学大学院人間・環境学研究科 〒606-8501 京都府京都市左京区吉田二本松町

²⁾ 鳴門教育大学学校教育学部 〒772-8502 徳島県鳴門市鳴門町高嶋字中島 748

³⁾ 信州大学農学部 〒399-4598 長野県上伊那郡南箕輪村 8304

⁴⁾ 山形大学農学部 〒997-8555 山形県鶴岡市若葉町 1-23

⁵⁾ 奈良文化財研究所 〒630-8577 奈良県奈良市二条町 2-9-1

および北海道南部まで広く分布する。用材としてのブナは、とりわけ加工性の観点から良材とは言い難い。しかしながら、中世以降に日本海沿岸地域において建築用材として（伊原，1988），また山間部において副業目的で杓子，漆器木地，雪掻き，そりなどに用いられてきた（農商務省山林局，1982）。こうしたブナ材利用の歴史的背景から，ブナ年輪幅の暦年変動パターンを明らかにすることは，上述の古建築や古民具類の年代測定に資するものである。本邦産ブナの年輪年代学の有用性については，光谷がその可能性を示唆したが（奈文研，1990），さらなる研究例はない。

また近年，ヨーロッパにおける新しい研究動向として，古材試料の年輪幅データと，地域ごとに作成された暦年標準パターンとの類似度分析による，産地推定が検討されている（例えば，Haneca *et al.*, 2005）。こうした研究の基礎的段階として，同じ樹種による年輪幅暦年変動パターンについて，広域ネットワークを作成することは必須の課題である。さらに本邦産ブナは，葉面積に大きな地理的変異があることが知られており（例えば，萩原，1977），こうした同化器官レベルの変異が気象要素や生育地の立地条件に加えて，年輪幅の変動に固有の影響を及ぼすことが予想される。ブナは，その植生分布の広域性と相まって，こうした年輪年代学における新しいアプローチを試みるためにも最適な樹種である。

以上の背景から本研究では，ブナの主要分布域である中部日本から東北地方において現生のブナ材試料を収集し，年輪幅測定に供した。そしてブナ年輪幅の暦年変動パターンを作成し，広域ネットワークを構築するとともに，年輪年代測定に資する基礎データとして採集地域ごとに指標年を決定した。また，年輪年代学における基本統計量および試料年輪幅データの相関分析から，各地域の暦年変動パターンの年代決定能力を定量的に評価した。暦年変動パターンを指標年を参照しながら，目視比較することで，地域間での年輪幅変動の類似点と相違点を明らかにし，さらに相関

分析により，ブナ年輪幅の暦年変動パターンの地理的区分を試みた。

2. 試料と方法

図1に試料採集地点を，表1に採集地名と略称を位置情報とあわせて示した。採集地は，本州北端部（下北半島：大畑，川内，津軽半島：増川），東北地方日本海側（深浦，秋田），太平洋側（久慈），および脊梁山地（奥羽山脈：八甲田，湯田），そして中部日本では水上および志賀高原の10地点である。それぞれの地点から，伐採年代既知のブナ現生木門板試料を，5～11個体ずつ収集した。

個々の試料について，あて材，節，枝張りなど年輪構造の不齊な部位を避けて，2～4放射方向の測線を設定した。年輪界を明瞭に識別するために，試料の木口面を測線に沿ってカッターナイフで切削し，木部細胞のプロファイルを実体顕微鏡下で観察できるまでに調整した。

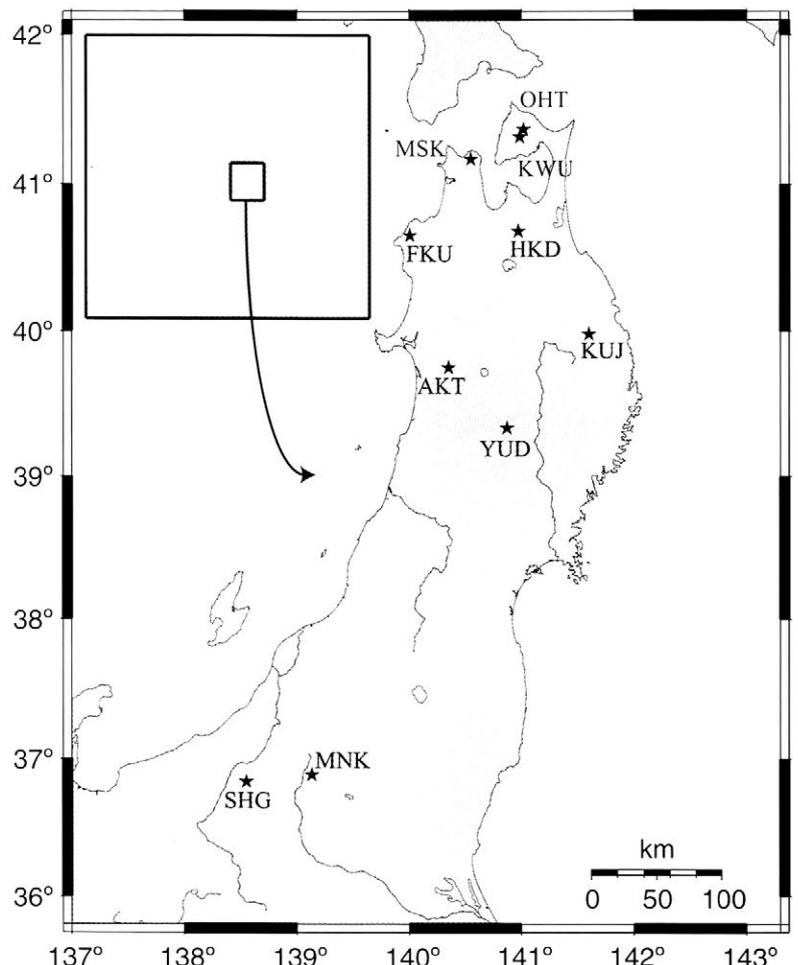


図1 試料採集地。

Fig. 1 Map of eastern Japan showing the forest sites (solid stars).

さらに観察を容易にするため、試料木口面に胡粉を塗布した。年輪読取器を用い、年輪幅を髄から最外年輪まで1/100mmの精度で測定した。

全ての測線について、得られた年輪幅データを片対数グラフ上に時系列でプロットし、目視によるクロスデーティングを行うことで、計測の誤りや不連続年輪の有無などを確認した。さらに統計的なクロスデーティング（移動相関法）を行い、年輪幅時系列の同調性を定量的に評価し、試料の年輪年代を確定した。その際の指標として、COFECHA プログラム (Holmes, 1983) による相関分析の結果（ピアソンの積率相関係数）およびシュエーデントの t 値 (Baillie and Pilcher, 1973) を用いた。統計的クロスデーティングでは通常、年輪幅時系列の長周期成分を除去した後、上述の統計量、すなわち相関係数と t 値が算出される (Wigley *et al.*, 1987)。長周期成分の除去には、前者では 50% 周波数応答長 32 年の三次平滑スプラインを、後者では 5 年移動平均を用い、傾向線に対して年輪幅を除することで年輪幅指数を得た。

採集地ごとに、試料年輪幅時系列のアンサンブル平均を求め、採集地を代表するブナ年輪幅の暦年変動パターンを得た。また、奈文研 (1990) に準じ、ある年の年輪幅の前年に対する増減、すなわち試料年輪幅時系列の 1 階差分値の符号が、90% 以上の測線で一致する年代を指標年 (pointer year; 例えば, Schweingruber *et al.* 1990) とした。次に、地域間での年輪幅変動の類似性を検討するために、作成した暦年変動パターンの相関分析を行った。

表 1 試料採集地および試料の概要。

Table 1 Summary of tree sites and samples used in this study.

Site	ID	Lat.	Lon.	Elevation	Number of	
				(m a.s.l.)	Trees	Radii
Ohata	OHT	41° 22' N	141° 01' E	400	10	40
Kawauchi	KWU	41° 19' N	140° 59' E	150-460	10	39
Masukawa	MSK	41° 10' N	140° 33' E	260	10	40
Fukaura	FKU	40° 39' N	140° 01' E	150-400	5	20
Akita	AKT	39° 45' N	140° 21' E	500	9	36
Hakkoda	HKD	40° 41' N	140° 58' E	800	8	32
Yuda	YUD	39° 20' N	140° 52' E	420-840	10	40
Kuji	KUJ	39° 59' N	141° 36' E	860-990	8	28
Minakami	MNK	36° 53' N	139° 08' E	1200-1400	11	43
Shigakogen	SHG	36° 50' N	138° 33' E	1490-1650	7	14

3. 結果と考察

3.1 ブナの年輪幅経年変動

ブナの実測年輪幅データの典型例を図 2 に示す。ここでは、水上から採集した試料の実測年輪幅について、横軸を(a)では暦年代に対して、そして(b)では樹芯からの年輪数に対してプロットし、それぞれアンサンブル平均を太線で表示している。

樹木年輪幅の変動要因としては、樹齢または樹体のサイズ、大気環境（気象、大気汚染など）、個体・生育環境のごく一部、または林分単位で起こる競合や被圧などがあげられる（例えば, Fritts, 1976; Cook and Kairiukstis, 1990, p.98）。暦年標準パターンの作成に際し留意すべき点は、林分や地域など一定以上広域に共通して現れる信号成分を抽出することである。年代測定を目的とした暦年標準パターンの作成においては、通常、単純に試料年輪幅時系列についてアンサンブル平均を求める。多数の試料について積算平均を施すことで、広域に共通する信号成分に対する雑音比の低減が期待できる。しかしながら試料の年輪幅時系列において、樹齢による長周期の傾向変動や競合・被圧からの解放によるパルス的な信号成分が強い場合、適切な数値フィルタにより除去するか、あるいは該当する個体を暦年標準パターンから除外する必要がある。こうした観点から、実測年輪幅データの目視評価、特に個々の試料年輪幅に含まれる外れ値や異常な変動の確認は重要である。

図 2 - (a) で示したように、ブナの年輪幅には個体間で共通する変動が、年輪幅時系列をカバーする年代範囲全体にわたって確認できる。この結果から、本邦産ブナに

においても年輪幅の広狭変動を利用したクロスデーティングによる年代決定が可能であり、多数の試料年輪幅時系列の平均化により、暦年標準パターンが作成できることは明らかである。

図 2 - (b) では、樹芯からの年輪数に対して年輪幅をプロットすることで、加齢によるブナの年輪幅変動の傾向を示している。アンサンブル平均（図中太線）では、ブナの年輪幅は成長開始後 30 年程度まで増加し、その後、漸減することを示している。同様の加齢による漸減傾向はヒノキ、ス

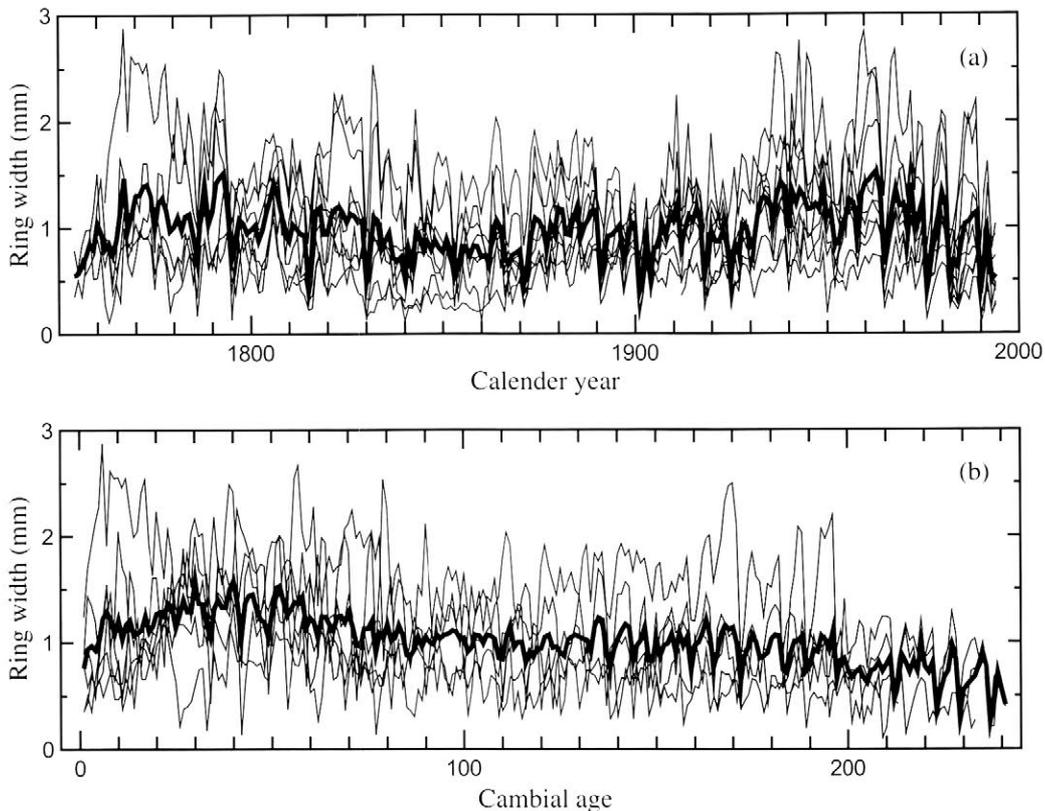


図2 ブナ年輪幅データの実測例（水上，MNK）。横軸は(a)暦年代、および(b)樹齢。太線はそれぞれのアンサンブル平均。
 Fig.2 Multiplots of raw ring-width series for Japanese beech (MNK) against calendar years (a) and those against cambial ages (b). Thick lines show ensemble means of the ring widths.

ギなど本邦産針葉樹材においてより顕著に現れるが、ブナではこうした加齢による傾向が比較的不明瞭である。

3.2 ブナ年輪幅の地域暦年変動パターンの同調性

それぞれの試料採集地点における1850年以降のブナ年輪幅の暦年変動パターンを図3に、基本統計量を表2に示す。平均年輪幅は0.98~2.11mm、標準偏差(SD)は0.48~1.06mmである。平均感応度(mean sensitivity; MS)は0.24~0.36であり、同じブナ属のアメリカブナ(*F. grandifolia*, MS=0.23)やヨーロッパブナ(*F. sylvatica*, MS=0.35)で得られた結果(National Climatic Data Center; 以下, NCDC)と同じ程度の値を示した。一方、これまでに本邦産針葉樹材で得られた結果では、MSは0.15以下の値が得られている(例えば, Fujiwara *et al.*, 1999; Takahashi *et al.*, 2003)。MSは年輪幅の年々変動の大きさを表す測度であり、樹種、地域により異なる(Fritts, 1976)。本研究で用いた本邦産ブナのMSが大きな値を示したことは、目視によるクロスデーティングが相対的に容易であることを意味す

る。暦年変動パターン全体での年々変動の一致率を表すGleichläufigkeit (GLK)の平均値は71.02~74.61であり、二項検定により危険率1%で有意な値を示した。

年輪幅変動の平均パターンと各試料計測方向別の年輪幅時系列との相関分析の結果は、作成した暦年変動パターンの同調性(コヒーレンシー)の高さを評価するために重要な統計量である。すなわち、同調性が高いほど、得られた暦年変動パターンの年代決定能力や古環境復元のための代理データとしての有用性が高い。従来、暦年標準パターンの同調性の定量的評価には、北米では主としてピアソンの相関係数(R_m)が、ヨーロッパでは t 値(T_{BP})が用いられてきた。本稿では、先行研究との比較のために両者を提示した。 R_m は、0.51~0.64であり、これまでにNCDCで公表されている様々な樹種についての結果と同程度の値を示した。 T_{BP} は、8.54~15.69の値を示した。 T_{BP} については同種のデータベースが公表されていないため比較検討できない。Baillie (1982)は、ヨーロッパ産ナラでの研究例をもとに、自由度60以上、有意水準0.1%で t 値が有意となる3.5を“恣意的な”基

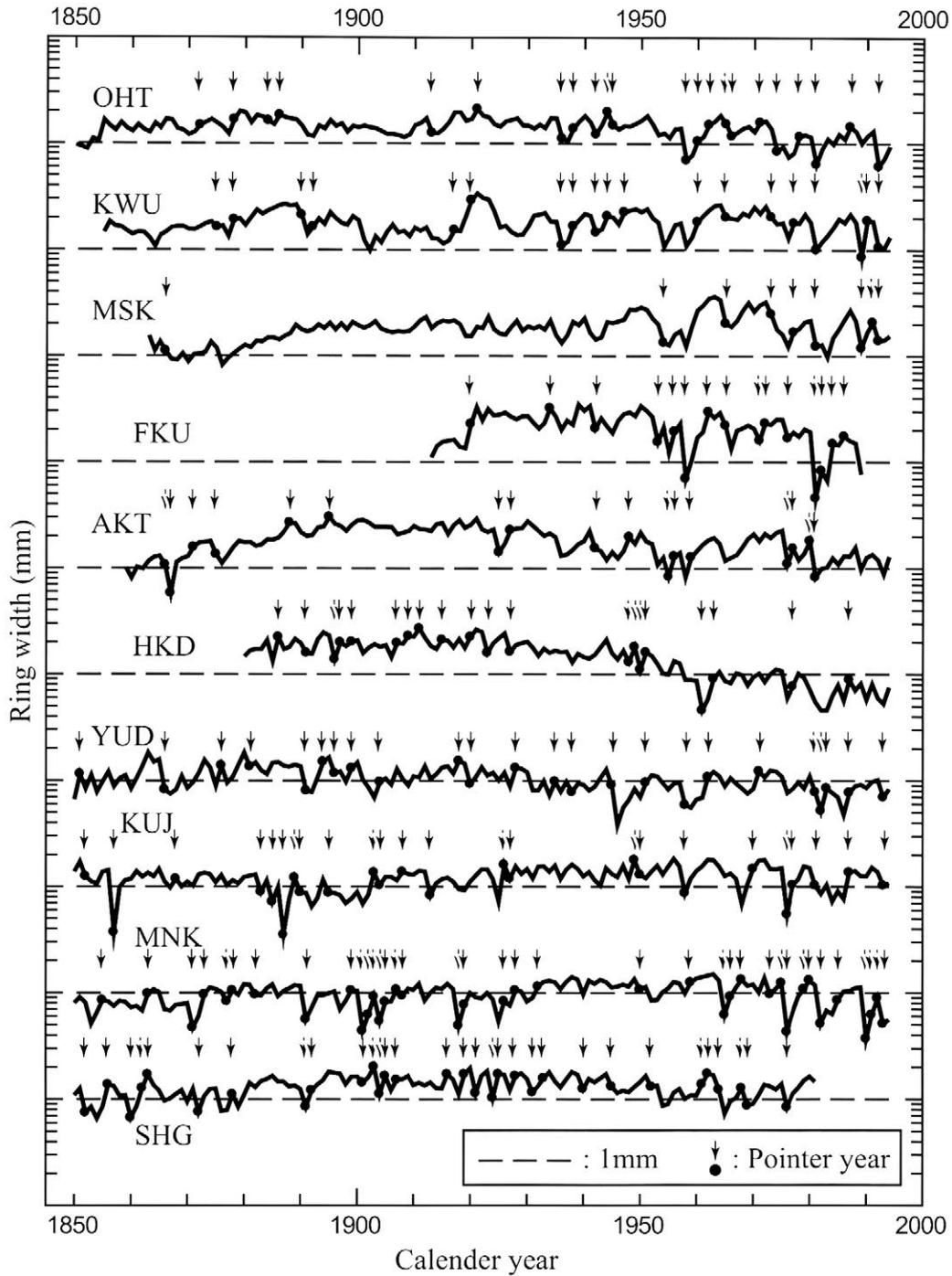


図3 ブナ現生木の年輪幅暦年変動パターンと指標年。矢印は指標年を示す。指標年では90%以上の試料年輪幅で、前年から増加あるいは減少が一致する。

Fig.3 Tree-ring chronologies of Japanese beech for eastern Japan. The arrows indicate pointer years, defined as 90% or more of the rings show an increase or decrease in growth from the previous year.

準として提案している（例えば、English Heritage, 2004）。一方でこの基準を用いた検定は、典型的な年輪幅時系列の特徴である自己回帰構造による自由度の減少を考慮していないなどの問題点を含むことが指摘されており（例えば、Munro, 1984；Wigley *et al.*, 1987），実際の年輪年代測定では、移動相関法により得られる年代候補を少数に絞り込み、目視でのクロスデーティングの

労力を軽減するために用いられている。本研究で収集したブナのクロスデーティングでは、 T_{BP} が約 4.0 以上を基準とすることで、移動相関法において伐採年で最大の値が得られると同時に、目視によるクロスデーティングにおいても良好な適合結果が得られた。これらのことから、暦年変動パターンと各試料の年輪幅時系列間との平均 T_{BP} は、ヨーロッパ産ナラでの基準や本邦産ブナにお

表2 プナ年輪幅暦年変動パターンの基本統計量。MS：平均感応度， R_m ：標準曲線との相関係数の平均値， T_{BP} ：Baillie & Pilcher (1973) の t 値，SD：標準偏差，GLK：Gleichläufigkeit。

Table 2 Summary statistics of the tree-ring chronologies. MS：mean sensitivity， R_m ：mean correlation with master， T_{BP} ：Baillie & Pilcher t -value，SD：standard deviation，GLK：Gleichläufigkeit。

ID	Span	Ring width		MS	R_m		T_{BP}		GLK	Nos. of pointer years	
		Mean(mm)	SD		Mean	SD	Mean	SD		Total	Per decade
OHT	1843-1994	1.39	0.59	0.24	0.56	0.10	10.23	2.26	71.53	22	1.53
KWU	1855-1994	1.82	0.92	0.28	0.60	0.12	9.37	2.73	72.77	19	1.37
MSK	1863-1994	1.88	0.90	0.26	0.52	0.10	8.76	2.37	71.02	9	0.69
FKU	1913-1989	2.11	1.06	0.36	0.61	0.16	8.99	2.28	74.16	15	1.90
AKT	1859-1994	1.82	0.80	0.26	0.59	0.09	9.06	2.63	71.43	17	1.26
HKD	1880-1994	1.38	0.75	0.28	0.57	0.08	8.54	1.94	74.28	20	1.75
YUD	1765-1994	1.24	0.57	0.29	0.51	0.13	10.67	3.43	74.61	24	1.67
KUJ	1723-1994	1.14	0.65	0.35	0.57	0.12	11.18	3.13	72.22	24	1.67
MNK	1754-1994	1.00	0.49	0.29	0.64	0.13	15.69	5.27	72.85	38	2.64
SHG	1668-1981	0.98	0.48	0.35	0.59	0.14	13.92	5.54	72.35	31	2.37

いて良好な目視評価の結果が得られる値を上回る高い値を示している。また、本研究で作成した各地域のブナ年輪幅の暦年変動パターンは、構成する試料の同調性が非常に高く、古文化財での年輪年代測定においても十分な能力を有すると判断できる。

3.3 各地域のブナ年輪幅変動の特徴と指標年決定

暦年変動パターン（図3）とその統計量（表2）から、ブナ年輪幅の平均的な変動には採集地域間で共通する、あるいは地域ごとに固有な変動が見いだされる。本州北端部、または東北地方日本海側の川内、増川、深浦、秋田では年輪幅が広く、中部日本の水上、志賀高原では年輪幅が狭い。また、暦年変動パターンと各試料計測方向年輪幅時系列間との T_{BP} は、中部日本で非常に高い。この他の統計量には、地理的に一定の傾向はみられない。暦年変動パターンのグラフプロットでは、複数地域において共通した変動が確認できる。例えば、本州北端部の大畑、川内、増川では、1950年代前半から1960年代初め頃に二つの極小値を持つ年輪幅の減少時期が共通してみられる。東北日本海側に位置する深浦と秋田でも、極小値を三つ持った同様の年輪幅の減少時期がみられる。これらはその他の地域では不明瞭である。東北脊梁山地に位置する八甲田と湯田では、1950年代終り頃から1960年代初めにかけて年輪幅の減少が共通してみられる。中部日本では1900年代初め頃の年輪幅の減少と増加との繰り返しが一致し、また1960年代中盤から後半にかけての年輪幅の減少も顕著である。東北太平洋側に位置する久慈では1880年代後半や1960年代後半に、他

の地域ではみられない顕著な年輪幅の減少がみられる。一方、1880年代初め頃の減少（深浦以外）や1970年代中盤から後半にかけての減少、1980年代初め頃の減少（志賀高原以外）は、調査地全域において共通している変動といえる。これらのことは、ブナの年輪幅が、調査林分を越えて広域に共通する環境要因に影響を受けて変動していることを示唆している。

各採集地点における指標年を表3に列挙し、図3に矢印で示した。また表2に指標年の数と10年間あたりの指標年の出現頻度を示した。指標年は、1850年以降に9～38箇所検出した。10年間あたりでは指標年は0.69～2.64箇所出現する。この指標年の数の多少は、年輪幅の年々変動に関する統計量MSとGLKの高低とは必ずしも対応しない。またKelly *et al.* (2002)が指摘しているように、指標年は暦年変動パターンの全ての年代範囲にわたって均等に出現しない。このことは、指標年が表2にあげた他の統計量とは別個に扱われるべき指標であり、年輪年代決定の際に重要な役割を果たすことを示している。

指標年では、グラフにプロットした暦年変動パターンの目視観察において、年輪幅の顕著な減少または増加に対応する傾向がある。地域的な傾向としては本州北端部の大畑、川内、増川、東北日本海側の深浦、秋田では1950年以降に多く指標年が出現する。一方、これ以外の地域（八甲田、湯田、久慈、水上、志賀高原）では、検討した1850年以降を通じて指標年が出現する。以下、指標年で年輪幅の増減を、年代と符号を用いて、2006（+）の形式で表す。1976（-）、1977（+）、1981（-）

表3 ブナ年輪幅暦年変動パターンの指標年。指標年では90%以上の試料年輪幅で、前年から増加あるいは減少が一致する。

Table 3 List of positive and negative pointer years for the Japanese beech tree-ring chronologies, defined as 90% or more of the rings show an increase or decrease in growth from the previous year.

	ID	Pointer years
Positive	OHT	1872, 78, 86, 1921, 38, 44, 60, 62, 71, 78, 87
	KWU	1878, 92, 1917, 20, 38, 44, 47, 60, 77, 90
	MSK	1977, 91
	FKU	1920, 34, 56, 62, 72, 82, 84, 86
	AKT	1871, 88, 95, 1927, 48, 56, 59, 77, 80
	HKD	1886, 97, 99, 1907, 09, 11, 15, 20, 49, 51, 63, 77, 87
	YUD	1851, 76, 94, 99, 1904, 18, 28, 35, 51, 62, 71, 83, 87
	KUJ	1868, 89, 1903, 08, 26, 49, 70, 77, 87
	MNK	1855, 63, 73, 78, 99, 1902, 03, 05, 07, 19, 26, 28, 32, 59, 66, 68, 72, 77, 79, 80, 85, 91, 92
	SHG	1856, 62, 63, 78, 92, 1903, 05, 07, 16, 19, 25, 28, 33, 61, 62, 68
	Negative	OHT
KWU		1875, 90, 1936, 42, 65, 73, 81, 89, 92
MSK		1866, 1954, 65, 73, 81, 89, 92
FKU		1942, 53, 58, 65, 71, 76, 81
AKT		1866, 67, 75, 1925, 42, 55, 76, 81
HKD		1891, 96, 1923, 27, 48, 50, 61
YUD		1866, 81, 91, 96, 1920, 38, 45, 58, 81, 82, 93
KUJ		1852, 57, 83, 85, 87, 90, 95, 1904, 13, 27, 50, 58, 76, 81, 93
MNK		1871, 77, 82, 91, 1901, 04, 08, 18, 50, 65, 73, 76, 82, 90, 93
SHG		1852, 60, 72, 91, 1901, 04, 21, 24, 31, 40, 45, 52, 64, 69, 76

では、5地点以上で指標年が一致する。これらの年代は暦年変動パターン（図3）でも全ての地点で年輪幅の変動が同調している。また暦年変動パターンのグラフにおいてみられたように、ある限られた地域内での指標年がよく一致することは注目に値する。例えば、本州北端部、東北日本海側では、1942（-）（増川以外）、1965（-）（秋田以外）で指標年が一致する。中部日本の水上と志賀高原では、1900年代初頭の1901（+）、1903（+）、1904（-）、1905（+）、1907（+）などをはじめ12箇所の指標年が一致する。一方、太平洋側の久慈では、1857（-）、1887（-）など、他の地点ではみられないが、顕著に年輪幅が減少した年で指標年が認められる。

以上のように各地域を代表するブナ年輪幅の暦年変動パターンを明らかにし、指標年を示したことにより、本邦産ブナにおいても年代未知の古文化財試料の年輪年代測定が可能となったといえる。さらに次節では、指標年のみではなく、各地域のブナ年輪幅の暦年変動パターン全体の類似性について検討する。

3.4 ブナ年輪幅暦年変動パターンの地域間類似性

表4にブナ年輪幅の暦年変動パターンの地域間での相関分析結果を示す。類似の程度は、二つの暦年変動パターンで年代が重複する部分において $T_{BP} \geq 5.5$ 、 $5.5 > T_{BP} \geq$

4.0、 $T_{BP} < 4.0$ の3段階に分類した。全ての組み合わせ（45組）のうち、最も類似度が高い T_{BP} が5.5を超えるものは11組（約25%）である。暦年変動パターンの類似度から(1)本州最北端および東北日本海側（大畑、川内、増川、深浦、秋田）、(2)東北脊梁山地（八甲田、湯田）、(3)東北太平洋側（久慈）、および(4)中部日本（水上、志賀高原）の4つのグループが地域的に区分できる。この結果は、ブナ年輪幅の暦年変動パターンを用いた産地推定への応用という観点から、とりわけ重要である。すなわち、ブナ材製古文化財の年輪幅データが得られた際、少なくともこれらの4つの地域への産地帰属を判別できる可能性がわが国で初めて示されたことになる。

個々のグループについて、さらに詳細に述べる。本州北端部・東北日本海側では、川内、増川、深浦の組み合わせにおいて、 T_{BP} が6.5以上という高い相関が得られた。大畑と秋田は、川内、増川、深浦とは T_{BP} が6.3以上という高い相関を示すが、互いの組み合わせでは T_{BP} が5.28となり、閾値に設定した $T_{BP} = 5.5$ をやや下まわる。この組み合わせは、これが属する区分地域内では約190kmと最も距離的に遠い組み合わせである。東北脊梁山地に属する八甲田と湯田との組み合わせでは、秋田、久慈など他に近接する採集地点とは T_{BP} が5.5以上の相関が得られず、約140kmと距離的には遠いが、同じ脊

梁山地内で一つのグループとなった ($T_{BP}=5.66$)。中部日本の水上、志賀高原の組み合わせでは、 T_{BP} が 7.15 と高い相関が得られた。これらの地域では、前節で述べたように共通する年輪幅の減少傾向や指標年の一致が多くみられる。東北太平洋側の久慈では、 T_{BP} が 5.5 以上の相関は得られないものの、川内、増川、秋田、八甲田、湯田、水上との組み合わせにおいて $5.5 > T_{BP} \geq 4.0$ の相関を示す。久慈の暦年変動パターンでは、他の地点と共通する変動もみられるものの、他の地域では認められないような特異な変動も多く現れた地点である。

このように暦年変動パターンに地域性が確認されたことは、ブナの年輪幅変動が地域的な環境変動の影響を反映していることを示唆する。また東北脊梁山地において近接する地点とは高い相関が得られないにもかかわらず、距離的には遠い組み合わせで高い相関が得られたことは、距離的な近遠関係だけではなく、気候あるいは地理的な立地条件によって年輪幅変動の同調が起きていることを示している。

ブナ年輪幅の暦年変動パターンが、同じ地域区分内においても大畑と秋田のように距離的に遠い組み合わせで、やや相関が低くなることや、久慈が、地域区分の異なる地域に対してもある程度高い相関を示すことは、ネットワークを構成する暦年変動パターンの空間的密度を、さらに向上させる必要があることを示唆している。特に本研究で得られた年輪試料は、太平洋側では久慈のみであり、さらに多くの地点での踏査が必要である。しかしながら、本節で明らかにした相関分析の結果から、地域区分を超えてもクロスデーティングによる古文化財の年輪

年代測定は可能であり、採集地の密度を増やしていくことでブナ年輪幅の暦年変動パターンネットワークの地域区分を精度高く検証できるようになると考えられる。

4. まとめ

本研究では、東日本全域にわたる 10 地点において、ブナ現生木年輪幅の暦年変動パターンと指標年データベースを作成し、広域ネットワークを構築した。それぞれの採集地域について、実測年輪幅変動の目視観察と個々の試料木との相関分析から、暦年変動パターンとしての同調性（コヒーレンシー）の高さを評価した。また、ブナ年輪幅の暦年変動パターンを相関分析に供し、採集地間での類似性から、ネットワークの地域区分を試みた。これらの結果から、以下の結論が得られた。

1. 東日本の 10 地点において、ブナ円板試料を収集し、古文化財試料の年輪年代測定の際の標準となる暦年変動パターンを得た。また、年輪幅増減の一致が 90% 以上の試料で見られる年代を指標年として、地域ごとに 1850 年から現在に至る指標年データベースを作成した。わが国では従来、ヒノキ、スギなど針葉樹材を中心に年輪年代学研究が進められてきたが、本研究により古民具などで歴史的に利用の多い、広葉樹材のブナでの年代測定が可能となった。
2. ブナの実測年輪幅時系列を示し、年輪幅の目視によるクロスデーティングが可能であることを明らかにした。さらに暦年変動パターンの基本統計量から、ブナの年輪は年々変動が大きく、他の本邦産針葉樹に比べて相対的にクロスデーティングが容易な、年輪年代学的有用樹種であることを明らかにした。
3. 本研究で作成したブナ年輪幅の暦年変動パターンが、構成する試料木年輪データとの高い同調性を持つことを示し、年代測定における暦年変動パターンとして高い性能を有することを明らかにした。
4. 各採集地域におけるブナ年輪幅の暦年変動パターンの類似性を、相関分析を用いて明らかにし、本研究で構築し

表 4 ブナ年輪幅暦年変動パターンの地域間相関。
● : $T_{BP} \geq 5.5$, ● : $5.5 > T_{BP} \geq 4.0$, - : $T_{BP} < 4.0$.

Table 4 Inter-site comparisons of Japanese beech tree-ring chronologies. The t -values are indicated as bigger solid circles ($T_{BP} \geq 5.5$), dots ($5.5 > T_{BP} \geq 4.0$) and bars ($T_{BP} < 4.0$).

	OHT	KWU	MSK	FKU	AKT	HKD	YUD	KUJ	MNK	SHG
OHT		10.19	9.59	7.73	5.28	3.44	2.79	3.77	0.38	1.38
KWU	●		10.27	6.55	6.31	2.70	2.56	4.27	2.03	3.91
MSK	●	●		6.51	7.93	2.40	1.96	4.09	2.47	4.15
FKU	●	●	●		7.62	3.15	1.30	2.72	2.32	0.52
AKT	●	●	●	●		1.61	3.48	4.28	3.05	1.41
HKD	-	-	-	-	-		5.66	4.48	2.67	2.18
YUD	-	-	-	-	-	●		4.01	1.96	1.83
KUJ	-	●	●	-	●	●	●		5.25	2.53
MNK	-	-	-	-	-	-	-	●		7.15
SHG	-	-	●	-	-	-	-	-	●	

たネットワークを地域区分できることを見出した。区分した地域は本州北端部・東北日本海側，東北脊梁山地，東北太平洋側，中部日本の4グループから成る。

今後の課題として，本研究で作成したブナ現生木による年輪幅暦年変動パターンを，埋没木や古文化財を用いてさらに過去へと延長することがまず重要である。また，古文化財への実地的応用として，本研究で構築したブナ年輪幅暦年変動パターンの広域ネットワークを用いた，古民具などの年代未知ブナ材製古文化財での年輪年代測定と，産地推定法の検討が期待される。次に，年輪年代学の重要な課題として，ブナの年輪幅変動に影響を及ぼす気象などの環境因子の特定があげられる。ブナの年輪幅変動に影響を及ぼす環境因子については，気温などの気象要素（野堀ら，1998）や種子生産の豊凶（尾形ら，1994）などが提案されてきたが，これまでのところ確定的な結論は得られていない。ブナの成長に及ぼす環境因

子が特定できれば，古環境の復元（例えば，Yonenobu and Eckstein, 2006）への応用が期待できる。本研究で得られたブナ年輪幅暦年変動パターンは，同調性が非常に高く，こうした年輪気候学的研究に十分資するものであると考えられる。

謝 辞

本研究で用いた試料の収集には，信州大学教授渡辺隆一氏，それぞれの地域の林野庁所管の森林管理所の方々から協力を得た。大阪市立自然史博物館元館長故那須孝悌氏，大阪市立大学名誉教授熊井久雄氏，奈良文化財研究所研究員大河内隆之氏，京都大学大学院博士後期課程藤井裕之氏には終始適切な研究上の助言と温かい励ましをいただいた。これらの方々に深く謝意を表します。本研究の一部は文部科学省科学研究費基盤研究（C）（15500685）の支援によりおこなった。

引用文献

- 伊原恵司 1988「中世－近代建築の使用木材とその構成」普請研究 26 pp.2-54
- 尾形俊成・高橋教夫・野堀嘉裕 1994「ブナ二次林の年輪変動に関する研究－豊作年と年輪幅の関係について－」日林東北支誌 46 pp.9-10
- 島地 謙・伊東隆夫 1988『日本の遺跡出土木製品総覧』雄山閣出版
- 奈良国立文化財研究所 1990「年輪に歴史を読む－日本における古年輪学の成立－」『奈良国立文化財研究所学報』48 同朋舎
- 農商務省山林局 1982『木材ノ工藝的利用（復刻版）』林業科学技術振興所
- 野堀嘉裕・高橋教夫・尾形俊成 1998「ブナ年輪幅の変動に及ぼす環境要因について（I）－北日本8地域における標準年輪曲線の作成と気象要素の解析－」日林論 109 pp.317-320
- 萩原信介 1977「ブナにみられる葉面積のクラインについて」種生物学研究 1 pp.39-49
- 光谷拓実 1987a「わが国における年輪年代学の確立とその応用（第1報）－現生木のヒノキによる年輪変動パターンの特性検討－」木材学会誌 33-3 pp.165-174
- 光谷拓実 1987b「わが国における年輪年代学の確立とその応用（第2報）－産地を異にするヒノキ相互間およびヒノキと異樹種間との年輪変動パターンの相関分析－」木材学会誌 33-3 pp.175-181
- 光谷拓実 1995「古墳の年代を年輪から計る」考古学と自然科学 31・32 pp.11-20
- 山田昌久 1993「日本における木材利用史－人間・植物関係史の視点から」植生史研究 特別1 pp.1-242
- Baillie, M. G. L. 1982 *Tree-ring dating and archaeology*. The University of Chicago Press, Chicago
- Baillie, M. G. L. 1995 *A slice through time - dendrochronology and precision dating-*. B. T. Batsford Ltd., London

- Baillie, M. G. L. and Pilcher, J. R. 1973 A simple cross-dating program for tree-ring research, *Tree-Ring Bulletin* 33 pp.7-14
- Cook, E. R. and Kairiukstis, L. A. 1990 *Methods of dendrochronology -applications in the environmental sciences-*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- English Heritage 2004 *Dendrochronology : guidelines on producing and interpreting dendrochronological dates* URI : <http://www.english-heritage.org.uk/>
- Fujiwara, K., Okada, N. and Yamashita, K. 1999 Comparison of growth response of *Abies* and *Picea* species to climate in Mt. Norikura, central Japan. *Journal of Wood Science* 45-2 pp.92-97
- Fritts, H. C. 1976 *Tree rings and climate*. Academic Press, London
- Haneca, K., Wazny, T., van Acker, J. and Beeckman, H. 2005 Provenancing Baltic timber from historical objects : success and limitations. *Journal of Archaeological Science* 32-2 pp.261-271
- Holmes, R. L. 1983 Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement, *Tree-Ring Bulletin* 43 pp.69-78
- Kelly, P. M., Leuschner, H. H., Briffa, K. R. and Harris, I. C. 2002 The climatic interpretation of pan-European signature years in oak ring-width series. *The Holocene* 12-6 pp.689-694
- Munro, M. A. 1984 An improved algorithm for crossdating tree-ring series. *Tree-Ring Bulletin* 44 pp.17-27
- National Climatic Data Center. COFECHA output (crossdating quality analysis). URI : <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering/cofecha/cofecha.html>
- Reimer, P. J., Baillie, M. G. L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Bertrand, C. J. H., Blackwell, P. G., Buck, C. E., Burr, G. S., Cutler, K. B., Damon, P. E., Edwards, R. L., Fairbanks, R. G., Friedrich, M., Guilderson, T. P., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kromer, B., McCormac, G., Manning, S., Ramsey, C. B., Reimer, R. W., Remmele, S., Southon, J. R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F. W., v. d. Plicht, J. and Weyhenmeyer, C. E. 2004 IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon* 46-3 pp.1029-1058
- Schweingruber, F. H., Eckstein, D., Serre-Bachet, F. and Bräker, O. U. 1990 Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia* 8 pp.9-38
- Takahashi, K., Azuma, H. and Yasue, K. 2003 Effects of climate on the radial growth of tree species in the upper and lower distribution limits of an altitudinal ecotone on Mount Norikura, central Japan. *Ecological Research* 18-5 pp.549-558
- Wigley, T. M. L., Jones, P. D. and Briffa, K. R. 1987 Cross-dating methods in dendrochronology. *Journal of Archaeological Science* 14-1 pp.51-64
- Yonenobu, H. and Eckstein, D. 2006 Reconstruction of early spring temperature for central Japan from the tree-ring widths of Hinoki cypress and its verification by other proxy records. *Geophysical Research Letters* L10701 doi : 10.1029/2006GL026170

(2006年6月15日受付, 2006年8月9日受理)

Building a wide-area network of tree-ring chronologies for Japanese beech in eastern Japan

**Yasuharu HOSHINO^{1, 5)}, Hitoshi YONENOBU²⁾, Koh YASUE³⁾, Yoshihiro NOBORI⁴⁾
and Takumi MITSUTANI⁵⁾**

¹⁾ Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University, Kyoto 606-8501, Japan.

²⁾ College of Education, Naruto University of Education, Naruto 772-8502, Japan.

³⁾ Faculty of Agriculture, Shinshu University, Minami-minowa, Kami-ina 399-4598, Japan.

⁴⁾ Faculty of Agriculture, Yamagata University, Tsuruoka 997-8555, Japan.

⁵⁾ National Research Institute for Cultural Properties Nara, Nara 630-8577, Japan.

We developed a network of tree-ring chronologies for Japanese beech in eastern Japan. Transversal disks were collected from living trees at ten study sites. Standard techniques of dendrochronology were employed in sample processing and chronology building, including precise measurement of the annual ring widths followed by visual and statistical crossdating. The chronology statistics demonstrate that the resulting chronologies are highly coherent, suggesting their high potential in crossdating archaeological wood. In addition, pointer years were determined for each of the chronologies in order to give useful information in dating practice. A correlation analysis was performed on the network of the Japanese beech chronologies. As a result, the chronologies are grouped into four geographical regions in the eastern part of Honshu Island ; i. e. the northern end and Japan Sea coastal areas, Pacific coastal areas, the spinal-column mountain range of Tohoku district, and Chubu (central Japan) district. This classification could give useful historical insight when applied to dendroprovenancing archaeological wood of Japanese beech, although a denser network of longer chronologies would be expected in future efforts.