

年輪年代法による輸入スプルース材の年代決定と産地推定

Tree-ring dating and dendroprovenancing of the imported Spruce woods

箱崎 真隆 (HAKOZAKI Masataka) · 中村 俊夫 (NAKAMURA Toshio)

名古屋大学年代測定総合研究センター

Center for Chronological Research, Nagoya University

〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町名古屋大学年代測定総合研究センター

Center for Chronological Research, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8601, Japan

要 旨

年輪年代法体験学習の教材を得るため、アラスカ州から輸入されたスプルース材の樹種同定と年代決定および産地推定を行なった。木材解剖学的特徴に基づく同定の結果、樹種はシトカスプルースに同定された。年輪年代解析の結果、15 試料から AD1689-1990 にわたる 302 年間の標準年輪曲線 (AKNCCH01 と命名) が得られた。AKNCCH01 は、アラスカ南東部沿岸地域の標準年輪曲線と $t_{BP} > 6.5$ を示し、特にプリンスオブウェールズ島のものと $t_{BP} = 9.36$ という非常に高い値を示した。以上の結果は、これらの輸入スプルース材が、アラスカ南東部太平洋沿岸諸島で、17 世紀末～現代にかけて生育したシトカスプルースであることを示唆する。

Abstract

In order to obtain the teaching materials for dendrochronology workshop, wood identification, tree-ring dating and dendroprovenancing survey on imported spruce woods were carried out. As a result of identification based on wood anatomical features, the species was identified as *Picea sitchensis* (Bong.) Carrière (sitka spruce). A tree-ring chronology with code name AKNCCH01 (it covers AD1689-1990 from 15 woods) was obtained as a result of dendrochronological analysis. AKNCCH01 was compared with chronologies of the southeastern Alaska coastal area and yielded $t_{BP} > 6.5$. In particular, correlation between AKNCCH01 and chronology of the Prince of Wales Island showed a very high value of $t_{BP} = 9.36$. The above results suggest that these imported sitka spruce woods have grown at the southeastern Alaska Pacific coastal area, from the end of 17th century to the present.

1. はじめに

年輪年代法は、年輪幅変動の個体間の同調性を利用して、年代未知の木材の絶対年代を 1 年精度で決定する年代測定法である。年輪年代決定には、年代既知の多数の年輪幅データを平均化した「標準年輪曲線」を用いる。近年では、地域ごとに構築された標準年輪曲線のネットワーク化が進められており、年代測定のみならず、木材の産地推定や時空間的な環境変動復元などが可能になっている (Haneca *et al.*, 2009; Speer, 2010; Bridge, 2012)。

名古屋大学年代測定総合研究センターでは、名古屋大学平成 25 年度地域貢献特別事業の一環として、2013 年 7 月 31 日～8 月 1 日に、この年輪年代法の体験学習を開催した。本事業では、小学 5 年生～中学生を対象に、木材の切断、年輪観察面の研磨、年輪幅の計測と記録、年輪幅変動グラフの作成、そして変動グラフと標準年輪曲線との絵合わせ (目視評価に基づくクロスデーティング) から年

輪の形成年を決定するまでの基礎実験を体験させた。

本事業の開催にあたって、上記実験に適した木材を準備し、予め年代を決定しておく必要があった。また、参加児童の「夏休みの自由研究」となることを見越した事業であるため、教材とする木材の樹種と産地についても、できるだけ正確な情報を提供する必要があった。

年輪年代法の試料は、標準年輪曲線が確立されている樹種の木材であり、かつ100層以上の年輪からなるものが望ましい。著者は、この条件を満たす木材を、名古屋市内のホームセンターで探した。当初は、日本産樹木のスギ、ヒノキを検討したが、それらの木材は年輪数が50層未満であった。次に、外国産樹木を検討したところ、100～200層の年輪からなるアラスカ産スプルス材の「まな板」を見つけた。

スプルスはトウヒ属の総称であるため、この木材の種名は不明であった。アラスカ産であるとするれば、北米大陸に自生する7種のトウヒ属のいずれかに該当する。さらに、アラスカから輸出される林業重要種となれば、シトカスプルス (*Picea sitchensis* (Bong.) Carrière), ホワイトスプルス (*Picea glauca* (Moench) Voss), ブラックスプルス (*Picea mariana* (Mill.) Britton, Sterns & Poggenb) の3種に絞られる。2013年現在、国際年輪データバンク ITRDB (International Tree-Ring Data Bank: <http://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets/tree-ring>) には、これら3種の標準年輪曲線が多数登録されている。したがって、この輸入スプルス材のまな板に、年輪年代法を適用すれば、正確な年代が得られるだけでなく、年輪幅変動の同調性の統計評価に基づいて、より詳細な生産地の推定も可能であると予想された。

そこで著者は、年輪年代法体験学習の教材を得るために、これらの輸入スプルス材を試料として、木材解剖学的特徴に基づく樹種同定と、年輪年代法に基づく年代決定および産地推定を行なった。

2. 試料

試料は、「天然木スプルス材」「アラスカ産材」とラベル表示された「まな板」30枚である。この板は、一枚板または2枚の材が組み合わさった板で、柾目材であり、寸法は18 cm×36 cm×3 cmである。実験前に、試料の年輪数を計数し、50層以下であった5点は使用しなかった。試料にはAKNC001～025の試料番号を与え、2つの材が組み合わさった試料には、さらに-1、-2の区分番号を加えた。

3. 方法

3-1. 樹種同定

試料から徒手切片法を用いて、横断面（木口面）、接線断面（板目面）、放射断面（柾目面）を観察するためのプレパラートを作成し、40～1000倍の光学顕微鏡下で、木材解剖学的な特徴に基づき樹種同定をした。

3-2. 年輪年代解析

試料の横断面（木口面）をサンダーで研磨し、スキャナを用いて画像データ（2400 dpi）を得た。画像から年輪幅を計測した（0.01 mm 精度）。

試料の年輪幅時系列データを年輪年代解析ソフト PAST4 (SCIEM) に入力し、試料間でクロスデーティングした。クロスデーティングの具体的な方法は米延ほか（2010）を参照されたい。クロスデーティングでは統計評価 ($t_{BP} \geq 3.5$, t_{BP} が3.5のとき、危険率0.1%であり、二つの年輪幅時系列に相関関係があるとみなされる: Baillie & Pilcher, 1973) と目視評価を併せて行ない、各試料が複

表1-1 アラスカ州とカナダのトウヒ属3種の標準年輪曲線(その1)(ITRDB アクセス日: 2013.07.21).

Species	Chronology name (PCSI-ITRDB-)	Oldest year (AD)	Youngest year (AD)	t_{BP} (vs AKNCH01)	Originator(s)	Location	Altitude (m)	Original publication	Resource ID* (noaa-tree-)
シトカスブルース <i>Picea sitchensis</i>	AK2	1655	1986	7.03	Kaiser, K.	N 59.52 W 139.7	15		3676
	AK3	1807	1986	2.14	Kaiser, K.	N 63.23 W 143.17	630		3674
	AK4	1895	1986	0.43	Kaiser, K.	N 58.43 W 134.02	1		3673
	AK5	1848	1986	0.89	Kaiser, K.	N 58.43 W 133.98	2		3671
	AK6	1605	1986	6.85	Kaiser, K.	N 57.13 W 135.38	5		3669
	AK7	1828	1986	4.32	Kaiser, K.	N 59.6 W 139.37	18		3663
	AK8	1923	1986	0.92	Kaiser, K.	N 59.6 W 139.37	3		3666
	AK9	1885	1985	1.68	Kaiser, K.	N 59.6 W 139.37	3		3664
	AK10	1934	1985	-0.26	Kaiser, K.	N 59.6 W 139.37	1		3667
	AK11	1932	1985	-1.30	Kaiser, K.	N 59.6 W 139.37	1		3665
	AK12	1731	1986	1.41	Kaiser, K.	N 57.62 W 152.28	20		3660
	AK13	1785	1986	2.36	Kaiser, K.	N 58.47 W 134.02	8		3672
	AK14	1789	1986	2.41	Kaiser, K.	N 57.63 W 152.33	1		3658
	AK15	1854	1986	1.57	Kaiser, K.	N 62.28 W 145.37	500		3657
	AK16	1729	1986	2.40	Kaiser, K.	N 61.95 W 149.2	3		3655
	AK17	1721	1986	1.96	Kaiser, K.	N 57.6 W 152.32	25		3654
	AK18	1807	1986	0.83	Kaiser, K.	N 59.52 W 139.7	15		3653
	AK19	1599	1986	9.36	Kaiser, K.	N 55.48 W 133.13	20		3652
	AK21	1672	1986	4.27	Kaiser, K.	N 60.52 W 145.47	14		3651
	AK22	1828	1986	0.44	Kaiser, K.	N 59.35 W 135.77	45		3646
	AK23	1824	1986	2.11	Kaiser, K.	N 58.67 W 134.9	25		3645
	AK24	1758	1986	1.78	Kaiser, K.	N 58.47 W 134.02	30		3647
	AK014	1690	1996	3.33	Harlan, T.P., Canova, M., Reines, D.L., Wu, R.	N 58.05 W 152.7	10		3480
	AK016	1574	1988	4.71	Wiles, G., Calkin, P.E.	N 60.2 W 149.58	480		5241
AK017	1719	1988	1.65	Wiles, G., Calkin, P.E.	N 59.62 W 151.15	20		5242	
AK018	1720	1988	2.78	Wiles, G., Calkin, P.E.	N 59.68 W 151.42	20		5243	
AK019	1821	1993	5.06	Wiles, G., Calkin, P.E.	N 59.64 W 139.311	350		5245	
AK022	1762	1992	3.88	Wiles, G.	N 60.25 W 143.97	310		5246	
AK023	1615	1987	4.92	Wiles, G., Calkin, P.E.	N 59.37 W 150.83	300		5247	
AK026	1790	1988	1.76	Wiles, G., Calkin, P.E.	N 60.08 W 150.58	70		5250	
AK108	1721	1986	2.32	Wiles, G., D'Arrigo, R., Jacoby, G.C.	N 57.61 W 152.31	-		12466	
AK121	1403	1995	7.33	Barclay, D.J., Barclay, J.L., Calkin, P.E., Wiles, G.C.	N 59.53 W 139.73	10	Barclay et al., 2006.		
CANA084	1732	1983	7.50	Schweingruber, F.H.	N 59.92 W 136.83	780		4382	
CANA090	1686	1983	5.47	Schweingruber, F.H.	N 56.92 W 130.08	459		4553	
ホワイトスブルース <i>Picea glauca</i>	AK006	1554	1983	2.93	Schweingruber, F.H.	N 63.67 W 149.58	750		4397
	AK007	1770	1983	4.38	Schweingruber, F.H.	N 61.33 W 149.58	100		4425
	AK008	1664	1983	4.72	Schweingruber, F.H.	N 60.5 W 149.5	100		4537
	AK009	1696	1983	2.50	Schweingruber, F.H.	N 62.83 W 143.92	600		4657
	AK010	1654	1983	3.02	Schweingruber, F.H.	N 61.83 W 147.33	960		4409
	AK011	1792	1983	4.42	Schweingruber, F.H.	N 61.33 W 145.25	300		4538
	AK012	1795	1983	2.86	Schweingruber, F.H.	N 62.83 W 141.33	600		4564
	AK013	1769	1983	4.88	Schweingruber, F.H.	N 64.83 W 148.17	99		4735
	AK031	1524	1990	3.04	Jacoby, G.C., D'Arrigo, R.D., Buckley, B.	N 67.93 W 162.3	126		3593
	AK032	1585	1990	3.10	Jacoby, G.C., D'Arrigo, R.D., Buckley, B.	N 67.45 W 154.05	716		3586
	AK033	1296	1979	1.31	Jacoby, G.C., D'Arrigo, R.D., Buckley, B.	N 68.63 W 143.72	808		3607
	AK034	1795	1997	0.57	Lloyd, A.H.	N 64.82 W 163.7	61		3889
	AK035	1642	1997	2.31	Lloyd, A.H.	N 63.25 W 147.78	884		3879
	AK036	1734	1997	2.42	Lloyd, A.H.	N 65.5 W 145.33	945		3887
	AK038	1790	1999	1.19	Lloyd, A.H.	N 64.92 W 163.67	150		3890
	AK039	1697	1998	1.93	Lloyd, A.H.	N 63.27 W 147.92	884		3891
	AK041	1775	1997	0.71	Lloyd, A.H.	N 65.37 W 146.62	884		3893
	AK043	1713	1997	-0.24	Lloyd, A.H.	N 65.37 W 145.93	945		3895
	AK045	1774	1996	-0.78	Lloyd, A.H.	N 63.9 W 148.67	762		3897
	AK046	978	1992	1.95	King, J.C., Graumlich, L.J.	N 67.07 W 159.62	100		3706
AK047	1676	2002	1.08	Wilmking, M.	N 68.1 W 141.1	100		5256	
AK048	1725	2001	2.32	Wilmking, M.	N 67.12 W 150.08	100		5255	
AK050	1731	2000	2.78	Wilmking, M.	N 67.15 W 149.13	100		5259	
AK052	1730	2002	1.99	Wilmking, M.	N 67.13 W 152.07	100		5257	
AK053	1715	2000	1.59	Joergenson, J., Wilmking, M.	N 68.08 W 143.13	100		3642	
AK054	1735	2000	1.73	Wilmking, M., Juday, G.P.	N 63.1 W 150	100		5254	

*「http://hurricane.ncdc.noaa.gov/pls/paleox/f?p=519:1:::P1_STUDY_ID:XX:XX」のXXにResource IDの数字を入力することで元データ参照可能.

表1-2 アラスカ州とカナダのトウヒ属3種の標準年輪曲線（その2）(ITRDB アクセス日：2013.07.21).

Species	Chronology name (PCSI-ITRDB-)	Oldest year (AD)	Youngest year (AD)	t_{BP} (vs AKNCOH01)	Originator(s)	Location	Altitude (m)	Original publication	Resource ID* (noaa-tree-)
ホワイトスプルース <i>Picea glauca</i>	AK055	1788	2002	4.59	Wilmking, M.	N 63.08 W 148.13	100		5262
	AK056	1735	2000	1.73	Wilmking, M.	N 63.12 W 149	100		5261
	AK057	1607	2002	2.62	D'Arrigo, R.D., Mashig, E., Frank, D., Wilson, R., Jacoby, G.C.	N 65.18 W 162.2	168		3043
	AK058	1406	2002	2.70	D'Arrigo, R.D., Mashig, E., Frank, D., Wilson, R., Jacoby, G.C.	N 65.18 W 162.22	213		3044
	AK059	1542	2002	2.88	D'Arrigo, R.D., Mashig, E., Frank, D., Wilson, R., Jacoby, G.C.	N 65.12 W 162.18	282		3045
	AK060	1621	2002	2.63	D'Arrigo, R.D., Mashig, E., Frank, D., Wilson, R., Jacoby, G.C.	N 65.22 W 162.25	259		3047
	AK061	1575	2002	3.20	D'Arrigo, R.D., Mashig, E., Frank, D., Wilson, R., Jacoby, G.C.	N 65.08 W 162.18	282		3048
	AK062	1358	2002	3.35	D'Arrigo, R.D., Mashig, E., Frank, D., Wilson, R., Jacoby, G.C.	N 65.2 W 162.27	239		3049
	AK063	1590	2002	2.31	D'Arrigo, R.D., Mashig, E., Frank, D., Wilson, R., Jacoby, G.C.	N 65.1 W 162.15	229		3050
	AK064	1611	2002	2.58	D'Arrigo, R.D., Mashig, E., Frank, D., Wilson, R., Jacoby, G.C.	N 65.08 W 162.15	229		3051
	AK071	1517	1957	2.55	Jacoby, G.C., Davi, N., Wiles, G.	N 62.57 W 142.33	1030		3608
	AK072	1573	1998	4.14	Jacoby, G.C., Davi, N., Wiles, G.	N 61.77 W 141.63	1036		3619
	AK073	1546	1997	2.34	Jacoby, G.C., Davi, N., Wiles, G.	N 61.37 W 142.68	995		3606
	AK074	1471	1997	2.24	Jacoby, G.C., Davi, N., Wiles, G.	N 62.37 W 143.05	1167		3605
	AK075	1580	1998	3.14	Jacoby, G.C., Davi, N., Wiles, G.	N 61.15 W 142.08	1030		3595
	AK076	1415	1994	2.93	Jacoby, G.C., Davi, N., Wiles, G.	N 62.08 W 142.02	1006		3590
	AK077	1559	1996	2.39	Jacoby, G.C., Davi, N., Wiles, G.	N 62.55 W 143.28	994		3588
	AK078	1557	1997	2.07	Jacoby, G.C., Davi, N., Wiles, G.	N 61.33 W 142.72	1040		3587
	AK085	1806	2005	2.23	Lloyd, A.H., Fastie, C.	N 68.03 W 149.68	810		3886
	AK086	1627	2003	0.56	Wiles, G., Driscoll, W., D'Arrigo, R.D.	N 60.48 W 154.33	550		5561
	AK087	1672	2003	0.75	Wiles, G., Driscoll, W., D'Arrigo, R.D.	N 60.5 W 153.88	580		5564
	AK088	1769	2003	1.37	Wiles, G., Driscoll, W., D'Arrigo, R.D.	N 60.97 W 153.92	400		5563
	AK089	1600	2003	0.79	Wiles, G., Driscoll, W., D'Arrigo, R.D.	N 60.65 W 154.02	580		5562
	AK097	1625	1998	1.77	Jacoby, G.C., Wiles, G., Davi, N.	N 61.13 W 142.06	876		12444
	AK103	1556	1990	3.33	Jacoby, G.C., D'Arrigo, R., Buckley, B.M.	N 64.73 W 149.18	930		12450
	AK104	1303	2000	3.73	Jacoby, G.C., Davi, N.	N 67.96 W 149.76	701		12451
	AK105	1533	1999	1.61	Jacoby, G.C., Davi, N., Wiles, G.	N 61.61 W 141.36	1000		12463
	AK106	952	1979	2.85	Jacoby, G.C., D'Arrigo, R., Buckley, B.M.	N 67.35 W 149.46	-		12464
	AK109	1524	1990	3.60	Jacoby, G.C., D'Arrigo, R., Buckley, B.M.	N 67.91 W 162.3	750		12467
	AK110	980	1990	3.76	Jacoby, G.C., D'Arrigo, R., Buckley, B.M.	N 67.08 W 157.91	-		12468
	AK111	1556	1990	4.13	D'Arrigo, R., Wilson, R., Jacoby, G.	N 64 W 147	-	D'Arrigo et al., 2006	
	AK113	952	2000	3.76	D'Arrigo, R., Wilson, R., Jacoby, G.	N 67.5 W 150	-	D'Arrigo et al., 2006	
	AK115	1389	2001	2.53	D'Arrigo, R., Wilson, R., Jacoby, G.	N 65.16 W 162.25	-	D'Arrigo et al., 2006	
	AK116	1471	1999	3.55	D'Arrigo, R., Wilson, R., Jacoby, G.	N 62 W 142	-	D'Arrigo et al., 2006	
	AK117	1524	1990	5.89	D'Arrigo, R., Wilson, R., Jacoby, G.	N 67 W 152	-	D'Arrigo et al., 2006	
	AK122	1835	2009	1.37	Lloyd, A.H., Mann, D., Duffy, P.	N 63.81 W 144.8	420		13715
	AK123	1851	2009	-0.15	Lloyd, A.H., Mann, D., Duffy, P.	N 63.71 W 144.15	437		13716
	AK124	1827	2009	2.76	Lloyd, A.H., Mann, D., Duffy, P.	N 64.16 W 149.3	339		13717
	AK125	1890	2009	1.44	Lloyd, A.H., Mann, D., Duffy, P.	N 64.48 W 146.96	245		13718
	AK126	1854	2009	0.20	Lloyd, A.H., Mann, D., Duffy, P.	N 64.8 W 141.2	341		13719
	AK132	1073	2002	1.71	Anchukaitis, K.J., D'Arrigo, R.D., Andreu-Hayles, L., Frank, D., Verstege, A., Curtis, A., Buckley, B.M., Jacoby, G.C., Cook, E.R.	N 68.65 W 141.63	790	Anchukaitis et al., 2013	
ブラックスプルース <i>Picea mariana</i>	AK20	1616	1986	1.79	Kaiser, K.	N 61.67 W 144.67	150		3649
	AK079	1878	2005	1.90	Lloyd, A.H., Fastie, C.	N 67.22 W 150.27	405		3880
	AK136	1857	2012	1.90	Wolken, J.M., Mann, D.H., Lloyd, A.H.	N 64.99 W 147.66	300		14813

*「http://hurricane.ncdc.noaa.gov/pls/paleox/f?p=519:1:::P1_STUDY_ID:XX」のXXにResource IDの数字を入力することで元データ参照可能。

数の試料に対し、矛盾の無い年代関係となるか反復検証 (Replication) を行なった。クロスデーティングできた試料の重複する年輪幅をアンサンプル平均し、年代未知の標準年輪曲線を作成した。作成した標準年輪曲線のクオリティを評価するため、ARSTAN (Cook, 1985) を使用して、RBAR (50年窓の移動相関の平均値) と EPS (Expressed population signal: Wigley *et al.*, 1984) を算出した。そして、EPS = 0.85 を閾値とし、それを超える年代範囲において、信頼性の高い共通成分が得られているとみなした。

ITRDB からシトカスプルス、ホワイトスプルス、ブラックスプルの年代既知の標準年輪曲線 (表 1) をダウンロードし、PAST4 に入力して、試料の標準年輪曲線とクロスデーティングした。ここでも、統計評価 ($t_{BP} \geq 3.5$) と目視評価に基づいてクロスデーティングした。複数の標準年輪曲線に対して、矛盾しない年代関係にあることを確認した上で、試料の標準年輪曲線の年代を決定した。また、統計評価 (t_{BP}) の多寡に基づき、試料の産地を推定した。

4. 結 果

4-1. 樹種同定結果

観察の結果、試料 (AKNC004) はシトカスプルスに同定された。以下に、木材解剖学的記載および同定根拠を示す。

シトカスプルス *Picea sitchensis* (Bong.) Carrière マツ科トウヒ属 (図 1)。

水平・垂直樹脂道が存在する針葉樹材。早材から晩材への移行は緩やか。分野壁孔は典型的なトウヒ型で、1分野に 2-6 個。仮道管放射壁に大型の有縁壁孔があり、早材部で 1-2 列に並ぶ。他の北米産トウヒ属では、有縁壁孔が 2 列となるのは稀である (Hoaldley, 1990) ことから、シトカスプルスと同定した。

通常、木材の樹種同定は、全試料について顕微鏡観察を行なうが、本調査では 1 試料の結果から、他試料も同樹種と同定した。その根拠は、シトカスプルスの心材の色がピンク色を帯びた明るい茶色で、他の北米産トウヒ属のそれとはっきり区別されることによる (Hoaldley, 1990)。木材構造を観察した AKNC004 の色はピンク色を帯びた明るい茶色であり、他の試料も同じであることから、それらの顕微鏡観察は省略した。

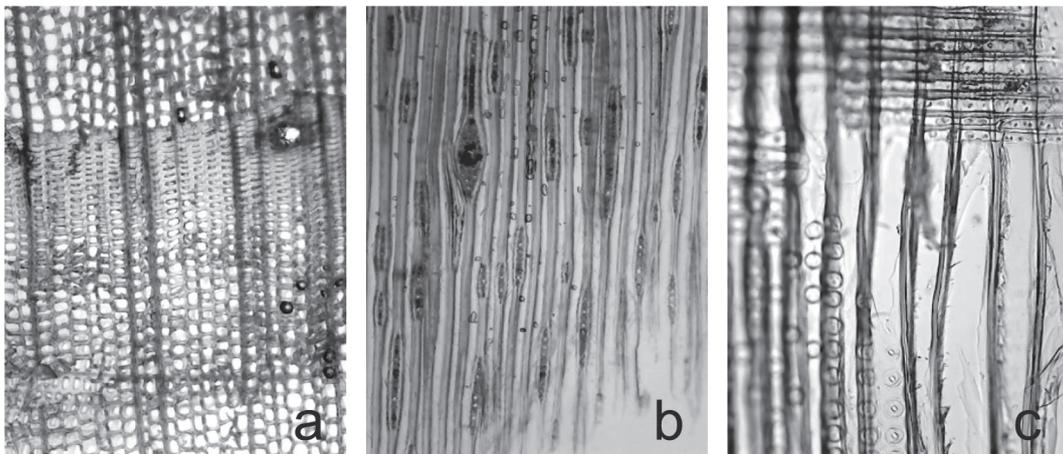


図 1 試料 (AKNC004) の木材組織の顕微鏡写真。木材解剖学的特徴からシトカスプルスと同定した。a: 横断面 (×40)。b: 接線断面 (×40)。c: 放射断面 (×100)。

4-2. 年輪年代解析結果

年輪幅計測の結果，試料 25 点（29 測線）から，58～210 年（平均 118.8 年）の年輪幅時系列が得られた．平均年輪幅は 1.22 mm であった．クロスデーティングの結果，14 測線間で相対的な年代関係が決定した．年代関係の確定した全試料において，複数の他試料に対し $t_{BP} > 3.5$ が得られ（表 2），グラフの重なりを比較した目視評価においても，連続的な年輪幅変動の一致が認められた（図 2A）．これら 14 点の年輪幅時系列を，確定した年代関係の位置でアンサンブル平均し，240 年間の年代未知の標準年輪曲線 AKNCCH00 を作成した．AKNCCH00 の構成試料間で RBAR と EPS を算出した結果，構成試料数が 10 点を超える約 60 年間に於いて $EPS = 0.83 \sim 0.88$ の値が得られた（図 2B, C）．

AKNCCH00 を ITRDB の標準年輪曲線とクロスデーティングした結果，シトカスプルスでは 12 地点（全 34 地点），ホワイトスプルスでは 13 地点（全 67 地点）の標準年輪曲線と $t_{BP} > 3.5$ が得られ，AD1751～1990 に年代決定された．一方で，ブラックスプルスの標準年輪曲線（全 3 地点）とは，年輪幅変動の一致が確認されなかった．

次に，AKNCCH00 に含まれず，年代決定できなかった試料の年輪幅時系列を，ITRDB の標準年輪曲線とクロスデーティングした．その結果，AKNC024-2 が AK6，AK19，AK121 と $t_{BP} > 3.5$ を

表 2 輸入スプルス材試料のクロスデーティング結果

Sample No.	AKNC 001	AKNC 007	AKNC 020	AKNC 003	AKNC 009	AKNC 006	AKNC 022	AKNC 014-1	AKNC 019	AKNC 016	AKNC 010	AKNC 017	AKNC 008	AKNCCH00- α^{**}	AKNCCH00
AKNC004	2.85*	1.74	4.52	1.72	3.53	2.32	4.01	1.59	4.76	2.80	3.31	1.81	3.92	5.30	9.82
AKNC001		5.62	3.06	2.33	1.37	2.47	0.81	2.70	2.65	0.70	2.65	3.92	3.52	5.10	7.59
AKNC007			2.99	1.92	4.30	3.88	0.61	1.87	1.96	2.42	4.55	3.75	2.92	5.85	7.76
AKNC020				3.07	1.15	2.20	4.76	3.85	1.90	2.08	3.88	1.10	1.53	6.44	8.57
AKNC003					0.61	5.27	2.69	3.79	2.90	0.80	2.56	-0.21	3.54	4.34	6.37
AKNC009						4.06	0.47	0.60	4.46	5.67	4.87	5.63	3.46	5.87	8.32
AKNC006							2.83	2.36	4.20	2.12	3.91	2.25	2.48	5.85	7.78
AKNC022								3.29	3.40	1.83	3.10	1.77	-	5.43	7.72
AKNC014-1									3.35	1.37	1.41	-0.67	2.38	4.08	4.89
AKNC019										3.10	5.52	3.05	4.53	6.80	8.90
AKNC016											3.76	6.02	4.59	4.67	8.35
AKNC010												4.51	4.82	7.87	9.51
AKNC017													2.39	3.75	10.00
AKNC008														6.42	9.68

* 同じ年代関係における試料間の統計評価値．統計上有意なマッチング($t_{BP} > 3.5$)はボールドで示す．

** 自己の年輪幅時系列(α)を除いた標準年輪曲線．

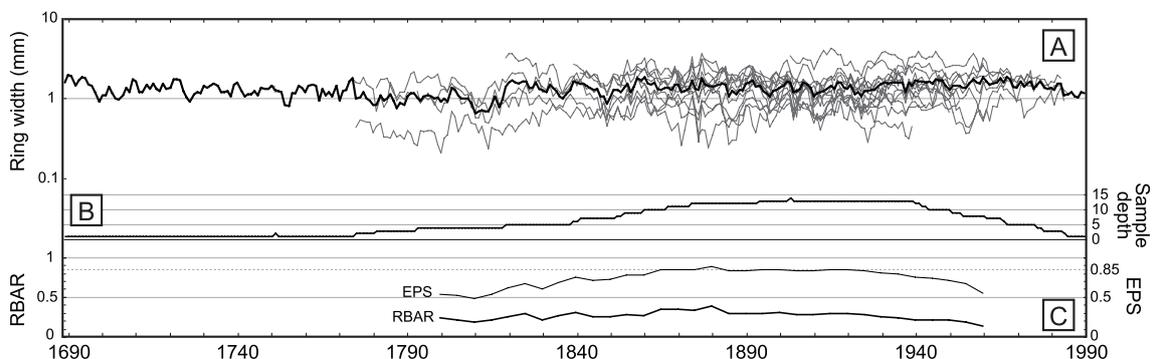


図 2 A. 輸入スプルス材の標準年輪曲線（黒色線）と構成する試料の年輪幅時系列（灰色線）． B. 標準年輪曲線の構成試料数の分布． C. 標準年輪曲線構成試料間における 50 年窓 45 年重複の移動相関の平均値（RBAR）と EPS（expressed population signal. $EPS > 0.85$ の区間において信頼性の高い共通成分が抽出された年輪変動とみなされる（Wigley *et al.*, 1984）.）．

示し、年輪幅変動の一致も目視で確認され、AD1689～1751に年代決定された。

AKNCCH00とAKNC024-2は重なる年が1年のみであり、クロスデーティングできる年代関係になかった。しかし、他の標準年輪曲線とのクロスデーティング結果に問題が無いことから、両者を連結してAD1689～1990にわたる302年間の標準年輪曲線AKNCCH01を作成した(表3、図2)。AKNCCH01の平均年輪幅は1.31 mm(標準偏差0.25)であり、Mean Sensitivity(以下MS: Fritts, 1976)は0.12であった(表3)。

AKNCCH01をITRDBの標準年輪曲線とクロスデーティングし、得られた t_{BP} 値と調査地点の座標から産地推定地図を作成した(表1、図3)。その結果、AKNCCH01はアラスカ州南東部プリンスオブウエールズ島のシトカスプルス標準年輪曲線(AK19)との間で $t_{BP} = 9.36$ という極めて高

表3 輸入スプルス材標準年輪曲線(AKNCCH01)と $t_{BP} > 6.5$ を示す(表1)標準年輪曲線群の各種統計値。

Chronology name	AKNCCH01	AK2	AK6	AK19	AK121	CANA084
Oldest year (AD)	1689	1655	1605	1599	1403	1732
Youngest year (AD)	1990	1986	1986	1986	1995	1983
No. of trees	15	17	13	16	28	28
Length (yr)	302	331	381	387	593	252
Mean ring width (mm)	1.31	1.14	0.91	1.03	0.97	1.77
Standard deviation	0.25	0.51	0.39	0.31	0.57	0.48
Mean sensitivity*	0.12	0.14	0.13	0.13	0.14	0.13

*Fritts (1976)

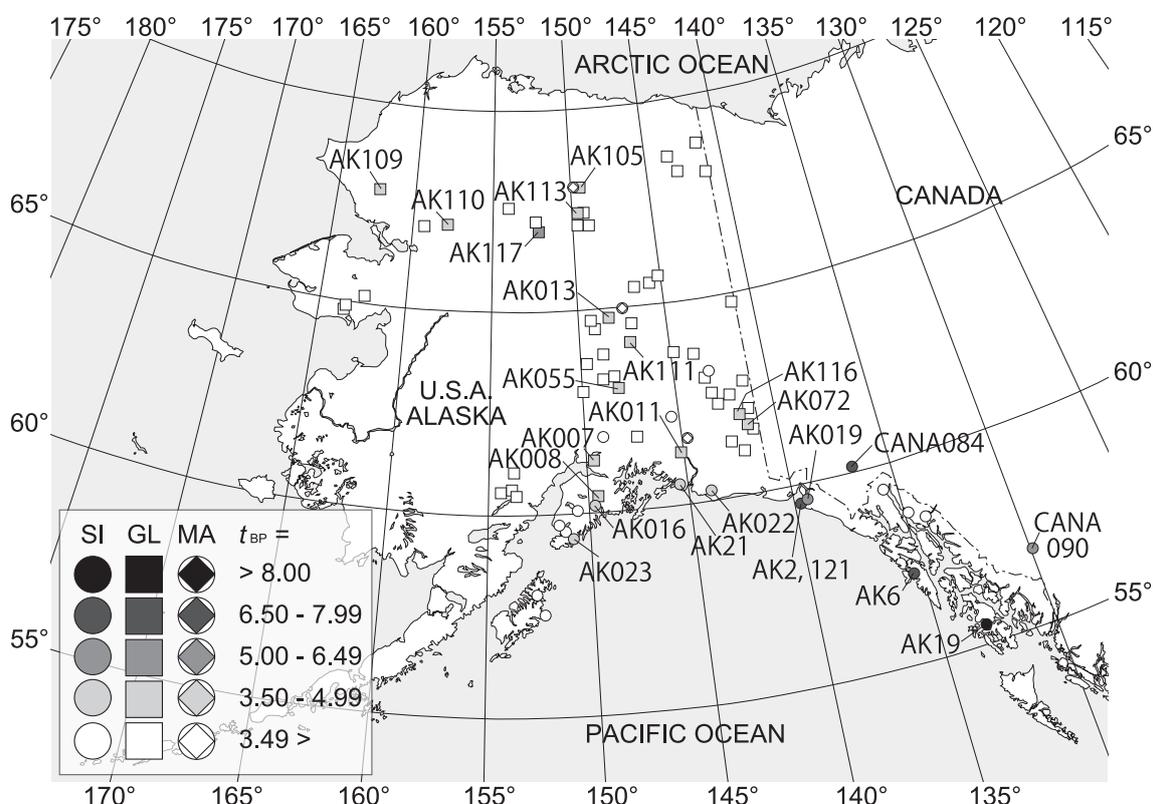


図3 輸入スプルス材標準年輪曲線(AKNCCH01)とITRDBのトウヒ属3種の標準年輪曲線間の t_{BP} 値に基づいて作成した産地推定地図。図中のSIはシトカスプルス、GLはホワイトスプルス、MAはブラックスプルスを表す。統計的に有意とされる $t_{BP} > 3.5$ が得られた標準年輪曲線の地点には、その多寡に応じて着色した。

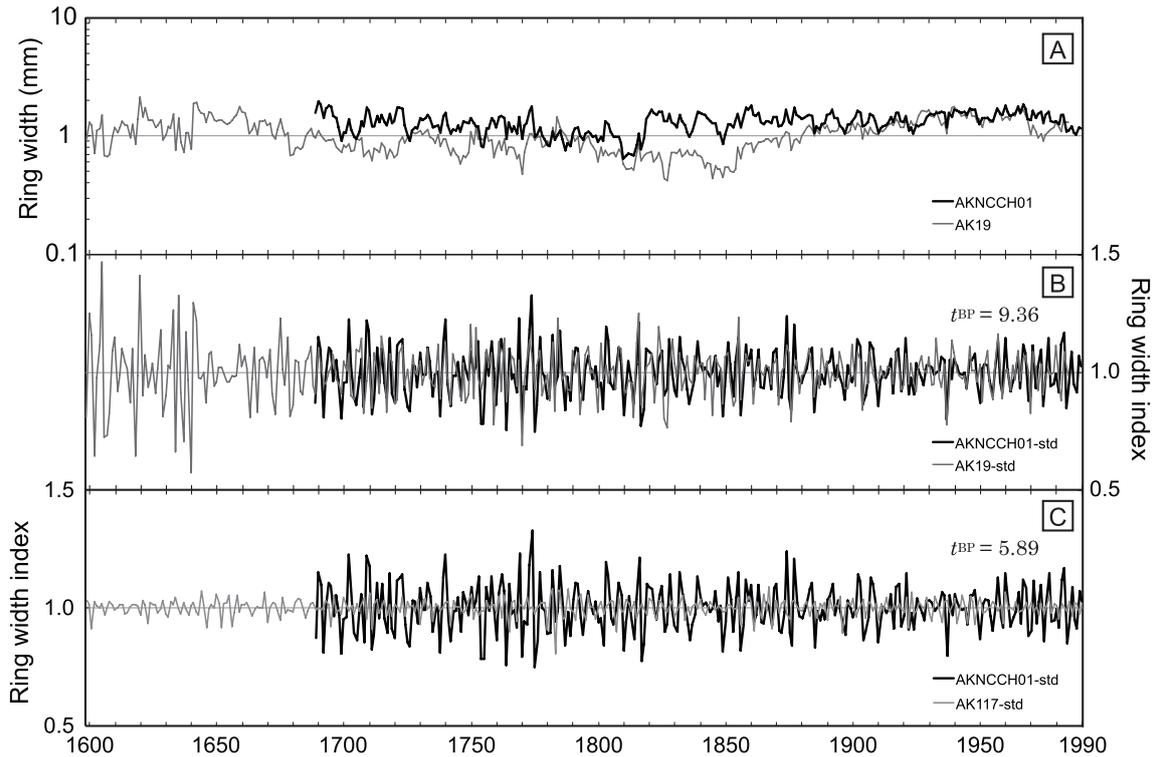


図4 輸入スプルース材標準年輪曲線 (AKNCCH01) と ITRDB 登録標準年輪曲線のクロスデーティング結果。

- A. プリンズオブウェールズ島産シトカスプルース (AK19) とのマッチングを年輪幅実測値で表したグラフ。
- B. A をハイパスフィルター (5年移動平均法) で標準化して表したグラフ。両者の年輪幅変動は全体にわたって極めて良く一致している。
- C. アラスカ本土北東部産ホワイトスプルース (AK117) とのマッチングを標準化して表したグラフ。両者の間では高い t_{BP} 値が得られているが、年輪幅変動は AD1880 以降、一致が乏しくなる。

い統計値を示した。両者は、目視評価でも年輪幅変動の全面的な一致が確認された (図 4A, B)。また、アラスカ州南東部太平洋沿岸地域およびカナダ西部のシトカスプルース標準年輪曲線群 (AK2, AK6, AK121, CANA084) とも $t_{BP} = 6.86 \sim 7.50$ という非常に高い値が得られた (表 1, 図 3)。その他に、ホワイトスプルースの標準年輪曲線 (アラスカ州北西部の AK117) との間で、 $t_{BP} = 5.89$ という値が得られたが、グラフの目視評価では AD1880 以降の一致が乏しいことが確認された (図 4C)。全体的な傾向として、AKNCCH01 は、アラスカ州南東部太平洋沿岸地域のシトカスプルース標準年輪曲線と年輪幅変動がよく類似することが明らかとなった。

5. 考 察

5-1. 試料の樹種と産地について

試料の樹種は、木材解剖学的特徴から、シトカスプルースに同定された。北米産トウヒ属は、シトカスプルースを除いて、木材構造が酷似するため、種レベルの同定ができない (Hoaldley, 1990)。試料から確認された仮道管放射壁の有縁壁孔が早材部で 2 列をなす木材構造は、シトカスプルースの重要な同定拠点である。したがって、試料がシトカスプルースである可能性は、木材構造のみから判断しても、極めて高いといえる。

年輪年代解析の結果も、この同定結果を強く支持した。標準年輪曲線間のクロスデーティングにお

いて、シトカスプルスでは 35.3 % (12 / 34 地点) が $t_{BP} > 3.5$ を示した。一方、ホワイトスプルスでは 19.4 % (13 / 67 地点) が $t_{BP} > 3.5$ を示し、ブラックスプルスでは示すものがなかった (表 1)。さらに、 $t_{BP} > 3.5$ を示す組み合わせの t_{BP} 値の平均は、シトカスプルスでは 5.89 と高い値となり、ホワイトスプルスの 4.27 を上回った。年輪幅の変動は、生理特性が同じ、または近い樹木が、類似的な気候下で生育した場合に共通する (Fritts, 1976)。AKNCCH01 が、他の樹種よりも、シトカスプルスの標準年輪曲線群と高い t_{BP} 値を示したことは、両者が同じ樹種であることを裏付ける有力な証左である。

試料の産地は、標準年輪曲線間の統計値の比較から、アラスカ州南東部太平洋沿岸地域と推定された。シトカスプルスは、アラスカ州本土及び太平洋沿岸諸島、ブリティッシュコロンビア州 (カナダ)、カリフォルニア州メンドシーノ郡中央部までの北米大陸太平洋沿岸地域を天然分布域とする樹木である (Eckenwalder, 2009)。AKNCCH01 の平均年輪幅 (= 1.31 mm) と MS (= 0.12) は、高い t_{BP} 値 (> 6.5) を示した標準年輪曲線群のそれと近似した (表 3)。MS は生育環境の安定度を推し量る統計値であり、0 ~ 2 の間を取り、0 に近いほど安定度が高いとみなされる。天然分布域以外の地域、例えばポーランドポメラニア地域で生育したシトカスプルスでは、平均年輪幅 2.85 mm, MS = 0.161 (Feliksik and Wilczyński, 2008) や平均年輪幅 3.09 mm, MS = 0.212 (Feliksik and Wilczyński, 2009) が報告されている。これは同樹種が、気候条件、生育環境の異なる場所では、成長速度も成長量の年々のばらつきも大きく変わることを示している。AKNCCH01 が、アラスカ州南東部のシトカスプルス標準年輪曲線と高い t_{BP} 値を示し、さらに平均年輪幅と MS が近似したことは、両者が非常に近い場所に生育したことを強く示唆する。

日本はアラスカ産シトカスプルス材の最大輸入国であり、その木材は様々な用途に利用されている (Harris, 1984; Braden *et al.*, 2000)。このような輸入・利用状況からみても、本研究の試料は、ラベル表示の「天然木スプルス材」「アラスカ産材」に偽りなく、アラスカ州南東部太平洋沿岸地域産のトウヒ属シトカスプルスで間違いないと考えられる。

5 - 2. 年輪年代法の教材としての評価

今回の年輪年代解析では、29 測線中 14 測線間 (48.3%) で、相対的な年代関係が決定できた。このなかには、年輪数 58 層の測線も含まれる。それらを平均して得られた AKNCCH01 は、アラスカ州南東部のシトカスプルス標準年輪曲線とのクロスデーティングと反復検証が成立し、AD1689 ~ 1990 に年代決定された。その年代範囲は 302 年間に及び、同種の他の標準年輪曲線 (表 1) と比べても短くない。ただし、今回の解析で構築された AKNCCH01 は、EPS が閾値に達する区間が短い (図 2C)。つまり、年輪幅変動の共通成分が全体にわたって強調できている標準年輪曲線とは言い難い。他の標準年輪曲線との間で、高い t_{BP} 値が得られ、年代決定できたのは、参照された側のクオリティが高いからであると考えべきである。AKNCCH01 のクオリティを高めるためには、さらに試料を追加し、構成試料を増やす必要があると考えられる。

年代関係が決定できなかった試料には、191 ~ 198 層の年輪からなるものも含まれた。これらは平均年輪幅が 0.36 ~ 0.53 mm と狭いため、年輪の形成されてない年 (欠損輪) を含んでいる可能性もある。また、これらの試料は、今回の解析では検討できていない、もっと古い年代のものであることも考えられる。シトカスプルスは樹齢 800 年に達する長命の樹種である (Schweingruber, 1993)。本調査での歩留まりと、年代が広範囲にわたる可能性を考慮すれば、今後、この輸入材を同様の実験に用いる場合は、少なくとも 50 層の年輪を持つ試料を 50 点以上 (本研究の倍以上) 用意する必要があると考えられる。

本研究によって、輸入スプルス材は、年輪年代法で年代を決定することができ、詳細な産地を推定することも可能であることが示された。年代が得られた試料を体験学習で使用したところ、全ての参加者（小中学生と保護者）が、年代を正しく決定できた。輸入スプルス材は、安価で入手しやすい。このことも、教材とする場合の利点である。高等教育や一般向けセミナー等で、年輪年代法をテーマとする場合には、この輸入スプルス材を有力な教材のひとつとして推奨したい。

謝 辞

本研究は平成 25 年度地域貢献特別事業の一部として、名古屋大学総長裁量経費の助成を受けて実施された。試料の樹種同定を行なうにあたり、名古屋大学年代測定総合研究センター一木絵理博士には、実験機器類を貸して頂いた。本稿の作成にあたり、名古屋大学大学院環境学研究科城森由佳氏には、有益なご助言を頂いた。記して感謝します。

引用文献

- Anchukaitis, K. J., D'Arrigo, R. D., Andreu-Hayles, L., Frank, D., Verstege, A., Buckley, B. M., Curtis, A., Jacoby, G. C. and Cook, E. R. (2013) Tree-ring reconstructed summer temperatures from northwestern North America during the last nine centuries, *Journal of Climate*, **26**, 10, 3001–3012.
- Baillie, M. G. L. and Pilcher, J. R. (1973) A simple crossdating program for tree-ring research. *Tree-Ring Bulletin*, **33**, 7–14.
- Barclay, D. J., Barclay, J. L., Calkin, P. E. and Wiles, G. C. (2006) A revised and extended Holocene glacial history of Icy Bay, southern Alaska, U.S.A. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, **38**, 153–162.
- Braden, R., Cunningham, K., Lippke, B. and Eastin, I. (2000) An assessment of market opportunities for Alaskan forest products exports. Laufenberg, T. L. and Brady, B. K. (eds.) *Proceedings: Linking Healthy Forests and Communities through Alaska Value-Added Forest Products, General Technical Report PNW-GTR-500*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR, 247–316.
- Bridge, M. (2012) Locating the origins of wood resources: a review of dendroprovenancing. *Journal of Archaeological Science*, **39**, 2828–2834.
- Cook, E. R. (1985) *A Time Series Analysis Approach to Tree Ring Standardization*. Ph.D. dissertation, University of Arizona, Tucson.
- D'Arrigo, R., Wilson, R. and Jacoby, G. (2006) On the long-term context for late twentieth century warming. *Journal of Geophysical Research*, **111**, D03103, doi 10.1029/2005JD006352.
- Eckenwalder, J. E. (2009) *Conifers of the world*. Timber Press, Portland.
- Feliksik, E. and Wilczyński, S. (2008) Tree-ring chronology as a source of information on susceptibility of Sitka spruce to climatic conditions of Pomerania (northern Poland). *Geochronometria*, **30**, 79–82, DOI 10.2478/v10003-008-0002-0.
- Feliksik, E. and Wilczyński, S. (2009) The Effect of climate on tree-ring chronologies of native and nonnative tree species growing under homogenous site conditions. *Geochronometria*, **33**, 49–57, DOI 10.2478/v10003-009-0006-4.
- Fritts, H. C. (1976) *Tree-rings and Climate*. Academic, London.
- Haneca, K., Čufar, K. and Beekman, H. (2009) Oaks, tree-rings and wooden cultural heritage: a review of the main characteristics and applications of oak dendrochronology in Europe. *Journal of Archaeological Science*, **36**, 1–11.
- Harris, A. S. (1984) Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.). FS-265.
- Hoaldley, R. B. (1990) *Identifying Wood*. The Taunton Press, USA.
- Schweingruber, F. H. (1993) *Trees and Wood in Dendrochronology*. Springer-Verlag, Berlin.
- Speer, J. H. (2010) *Fundamentals of Tree-ring Research*. The University of Arizona Press, Tucson.

Wigley, T. M. L., Briffa, K. R. and Jones, P. D. (1984) On the average value of correlated time series, with applications in Dendroclimatology and Hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, **23**, 201–213.

米延仁志・大山幹成・星野安治・光谷拓実・Eckstein, D. (2010) 年輪年代学におけるクロスデーティングのガイドライン—日本産材を用いた方法論の分析とモンテカルロシミュレーションによる統計的クロスデーティングの再検討—. *考古学と自然科学*, **60**, 1–12.

(2013年10月15日受付)