

高精度暦年較正に向けた北日本産樹木の放射性炭素年代測定
**Radiocarbon measurements of North Japanese tree-ring samples for calibration of
carbon 14 age to calendar date with a high degree of accuracy**

箱崎真隆^{1*}

Masataka Hakozaiki^{1*}

1 名古屋大学年代測定総合研究センター(Center for Chronological Research, Nagoya
University)

*Correspondence author. E-mail: hakozaiki@nendai.nagoya-u.ac.jp

Abstract

The ^{14}C age of subfossil *Thujopsis dorabrata* wood from North Japan, was measured by AMS for annual tree-ring samples from the period of AD 1381 to 1449. The data were compared with the IntCal09 calibration curve. As a result, the ^{14}C age of these samples showed the old date from IntCal09 for about 35 years on the average. This result suggests that the regional effect existed in this area. The measurements of the further North Japanese samples are necessary to improve precision of calibration of ^{14}C age in Japan.

Keywords: 北日本, ^{14}C 年代測定, 地域効果, 暦年較正, 年輪年代学,

1. はじめに

大気中 ^{14}C 濃度は、地域的に均一でないことが知られている(Hogg et al. 2002 など)。これは ^{14}C 年代測定学において「地域効果」と呼ばれており、日本でも紀元 2 世紀において、北半球の他の地域に比べ低い ^{14}C 濃度であったことが確認されている(Sakamoto et al. 2003 など)。この地域効果を見逃して、 ^{14}C 年代の暦年較正を行うと、真の暦年代を含まない較正暦年代範囲が推定されてしまうおそれがある。日本産資料の ^{14}C 年代を高精度に暦年較正するためには、暦年代の明らかな日本産資料(たとえば樹木年輪)の ^{14}C 年代測定を年代的・地域的に広範囲にわたって実施していく必要がある。

名古屋大学年代測定総合研究センターでは、高精度暦年較正データの確立を目指して、暦年代の明らかなヤクスギの年輪を対象に、過去 2000 年間の ^{14}C 濃度を測定している(中村ほか 2012 など)。これまでの測定結果から、歴史時代のさまざまな時期において、ヤクスギ年輪の ^{14}C 年代が IntCal09(Reimer et al. 2009)と 10 数年から 100 年近く古くなるこ

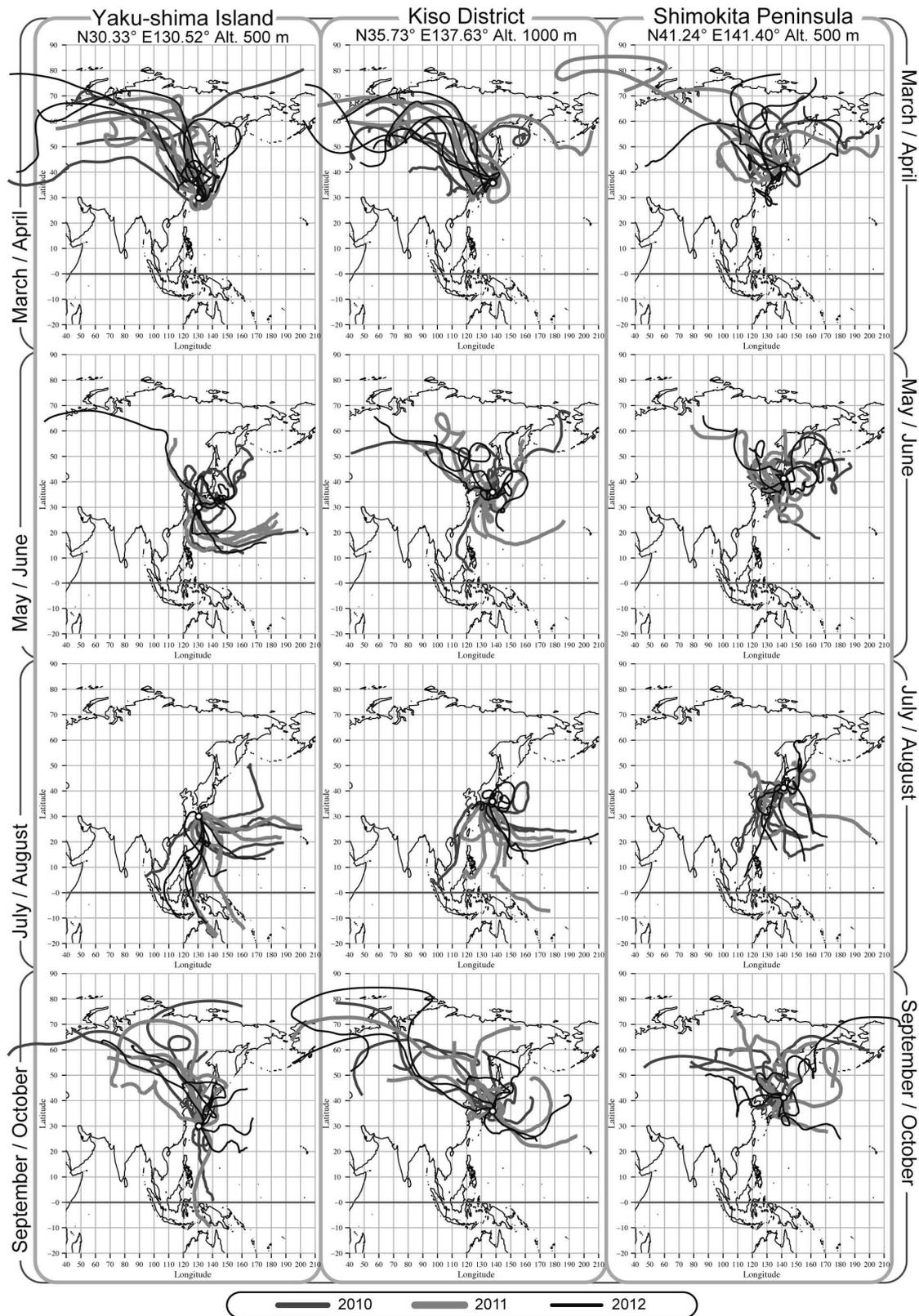


図 1 長期標準年輪曲線の構築が進んでいる国内 3 地域（鹿児島県屋久島，長野県木曾郡，青森県下北半島）に到来する気団の流跡線（過去 3 年間）。

日本産樹木の成長季節（3-10 月）に各地に到来する気団の流跡線を 10 日おき過去 240 時間を遡って描いた。流跡線の作成には国立環境研究所地球環境研究センターのオンラインプログラム METEX を使用した。

とが確認されている。また、そうなる原因として ^{14}C 濃度の低い南半球の大気の供給が想定されている。

ここで一つの問題点として、ヤクスギの生育する屋久島は南日本に位置していることが挙げられる。過去3年間(2010年-2012年)の樹木の成長季節(3月-10月)における気団の流跡線(図1)をみると、屋久島は中央日本(長野県木曾郡)および北日本(下北半島)とは異なる位置から大気の供給を受けていることがわかる。特に初夏から真夏にかけては、ハワイ沖西方から東南アジア近海の大気の供給が継続している。したがって、ヤクスギには、南半球の由来の CO_2 が固定されやすいと想定される。このことから、ヤクスギのデータのみから、日本全土に適用可能な高精度暦年校正データを確立することは難しいと予想される。日本産資料を高精度に暦年校正するためには、南日本以外の地域に生育した樹木の ^{14}C 濃度も測定していく必要がある。

そこで本研究では、より地域的汎用性の高い暦年校正データの確立を目指して、北日本産樹木の ^{14}C 年代測定を実施した。日本国内では、500年間以上の長さをもつ標準年輪曲線の数に限られているが、箱崎(2012)は青森県下北半島猿ヶ森砂丘のアスナロ埋没材から、10世紀半ばから17世紀にわたる661年間の標準年輪曲線の構築に成功している。この標準年輪曲線は、後述するように、暦年代既知の遺跡出土資料とのクロスデーティングに成功しているため、間接的に暦年代を与えることができる。本報告では、この標準年輪曲線を構成する試料を用いた14世紀末から15世紀半ばにかけての北日本産樹木の ^{14}C 年代測定結果を述べる。

2. 試料と方法

測定試料は、青森県下北半島太平洋岸猿ヶ森砂丘に存在する猿ヶ森埋没林(東通村教育委員会 1979)より採取したアスナロ埋没材(以下、AOSR028)である。猿ヶ森埋没林は、約2000-500年前にわたって低地に自生したアスナロ林が、砂丘砂の移動により埋没したものと考えられている(東通村教育委員会 1979, 千釜ほか 1998, 岡本ほか 2000)。よって、この埋没林から得られた埋没材は、北日本産であることが確定している。

猿ヶ森埋没林では、年輪年代学的研究によって44点のアスナロ埋没材から661年間の標準年輪曲線(以下 AOSR)が構築されている(箱崎 2012)。AOSR028 は、この AOSR 構成試料の1つである。AOSR は、現生アスナロ標準年輪曲線(Ohyama et al. 2007)とのクロスデーティングができていないため、直接的には暦年代が与えられていない。しかし、青森県内の複数の遺跡から出土したアスナロ材試料とは、相対的な年代関係に矛盾なくクロスデーティングができている(箱崎ほか 未発表)。これらの遺跡出土アスナロ材には暦年代が与えられているため(光谷 1993, 2005, 2007)、AOSR には間接的に西暦

945-1605 年の暦年代を与えることができる。以下、本報告で記述する暦年代(Calendar year)とは、この間接的に与えた暦年代を指す。ただし現時点では、この暦年代は独立した複数の年輪年代学研究機関によって確認されたものではない。したがって、年輪年代学的に厳密な意味では、まだ暦年代が確定していないことも付記する。

AOSR028 から、カッターナイフを用いて、西暦 1381 年-1450 年(70 年間)にあたる年輪を 1 年ごとに剝離した。本調査では、年代範囲全体の傾向をいち早く捉えるため、剝離した年輪のうち、暦年代奇数年の年輪のみを先行して以下の実験に供した。剝離した年輪試料から、化学洗浄(AAA 処理、亜塩素酸処理)により、セルロースを抽出した。セルロースを酸化銅、サルフィックスとともに石英管に封じ、電気炉で 850°C、3 時間酸化させガス化した。真空ライン上で液体窒素、エタノールのトラップを使用し、このガスから CO₂ を精製した。水素ガスおよび還元した鉄粉とともに精製した CO₂ ガスを石英管に封じ、電気炉で 650°C、6 時間反応させ、グラファイトを生成した。名古屋大学年代測定総合研究センタータンデトロン AMS2 号機により、生成したグラファイト中の ¹⁴C 濃度を測定した。得られた ¹⁴C 濃度から各年輪試料の ¹⁴C 年代を算出した。

各年輪試料の ¹⁴C 年代を北半球用暦年較正曲線 IntCal09(Reimer et al. 2009)および南半球用暦年較正曲線 SHCal04(McCormac et al. 2004)と比較して、同じ暦年代での年代差を算出した。比較に際し、単年データでは、太陽活動の変動の影響により、IntCal09 との違いが大きくなる傾向があるため、5 年および 11 年移動平均も求め、IntCal09 との年代差を検討した。また、OxCal v4.2.1(Bronk Ramsey 2013)を使用して、各試料の較正暦年代範囲を算出し、実年代との年代差を検討した。さらに、OxCal のウィグルマッチングプログラム(Bronk Ramsey et al. 2001)を使用し、較正暦年代範囲を絞り込んだ場合の年代差も検討した。

3. 結果

北日本産アスナロ埋没材年輪試料 35 点の ¹⁴C 年代測定の結果、690 ± 23 – 463 ± 22 BP(1σ)の ¹⁴C 年代が得られた(表 1)。各試料の ¹⁴C 年代は、IntCal09 よりも平均 35 ± 22 BP(1σ)古く、SHCal04 より平均 6 ± 22 BP(1σ)若い値であった(図 2)。IntCal09 と 5 移動平均で比較した場合は、連続的に 6 – 63 ± 22 BP 古い値であることが示され、11 年移動平均では連続的に 16 – 60 ± 22 BP 古い値であることが示された(図 3)。特に、西暦 1399 年から 1411 年にかけては、SHCal04 よりも古い値が継続した。

各試料を単独試料として、IntCal09 および SHCal04 により暦年較正を試みた結果、IntCal09 では 35 点中 9 点が 1σ、16 点が 2σ の較正暦年代範囲内に暦年代(実年代)が推定され、残り 10 点は暦年代が推定されなかった(表 1)。一方、SHCal04 では 35 点中 28

表 1 北日本産アスナロ埋没材年輪試料 35 点の ^{14}C 年代と校正暦年代

Tree- ring No.	Lab. Code (NUTA 2-)	Calendar year (AD)	^{14}C age (BP)	Error (1 σ)	Calibrated age (cal AD)					
					IntCal09 (Reimer et al. 2009)			SHCal04 (McCormac et al. 2004)		
					Unmodelled		Modelled*	Unmodelled		Modelled*
					1 σ	2 σ	2 σ	1 σ	2 σ	2 σ
SR70-1	19794	1381	690	23	1277 - 1377	1270 - 1385	1367 - 1373	1299 - 1385	1290 - 1391	1380 - 1386
SR68-1	19793	1383	643	22	1293 - 1387	1285 - 1392	1369 - 1375	1321 - 1396	1307 - 1404	1382 - 1388
SR66-1	19792	1385	670	22	1283 - 1381	1278 - 1387	1371 - 1377	1307 - 1391	1299 - 1394	1384 - 1390
SR64-1	19791	1387	645	22	1292 - 1386	1285 - 1392	1373 - 1379	1320 - 1395	1306 - 1403	1386 - 1392
SR62-1	19790	1389	605	23	1306 - 1396	1298 - 1404	1375 - 1381	1328 - 1413	1321 - 1423	1388 - 1394
SR60-1	19789	1391	665	23	1284 - 1383	1279 - 1389	1377 - 1383	1314 - 1391	1299 - 1396	1390 - 1396
SR58-1	19787	1393	619	23	1300 - 1392	1294 - 1398	1379 - 1385	1324 - 1405	1318 - 1415	1392 - 1398
SR56-1	19786	1395	612	22	1302 - 1394	1297 - 1400	1381 - 1387	1326 - 1408	1320 - 1418	1394 - 1400
SR54-1	19785	1397	577	20	1322 - 1406	1310 - 1413	1383 - 1389	1401 - 1420	1394 - 1433	1396 - 1402
SR52-1	19784	1399	646	22	1292 - 1386	1284 - 1391	1385 - 1391	1320 - 1395	1305 - 1403	1398 - 1404
SR50-1	19783	1401	637	23	1295 - 1388	1286 - 1394	1387 - 1393	1321 - 1398	1311 - 1407	1400 - 1406
SR48-1	19782	1403	613	21	1302 - 1393	1297 - 1399	1389 - 1395	1326 - 1407	1320 - 1416	1402 - 1408
SR46-1	19781	1405	601	22	1309 - 1397	1299 - 1406	1391 - 1397	1330 - 1416	1322 - 1424	1404 - 1410
SR44-1	19780	1407	578	22	1321 - 1406	1308 - 1414	1393 - 1399	1400 - 1421	1392 - 1437	1406 - 1412
SR42-1	19778	1409	606	22	1305 - 1395	1298 - 1404	1395 - 1401	1328 - 1412	1321 - 1421	1408 - 1414
SR40-1	19777	1411	558	21	1327 - 1413	1317 - 1423	1397 - 1403	1408 - 1429	1401 - 1439	1410 - 1416
SR38-1	19776	1413	584	22	1319 - 1404	1305 - 1412	1399 - 1405	1398 - 1419	1327 - 1434	1412 - 1418
SR36-1	19775	1415	554	21	1328 - 1415	1318 - 1425	1401 - 1407	1410 - 1431	1402 - 1440	1414 - 1420
SR34-1	19774	1417	547	21	1330 - 1419	1321 - 1429	1403 - 1409	1413 - 1434	1404 - 1443	1416 - 1422
SR32-1	19773	1419	583	23	1319 - 1404	1305 - 1412	1405 - 1411	1398 - 1420	1327 - 1435	1418 - 1424
SR30-1	19772	1421	546	22	1330 - 1420	1320 - 1430	1407 - 1413	1413 - 1434	1404 - 1443	1420 - 1426
SR28-1	19770	1423	535	22	1400 - 1427	1325 - 1434	1409 - 1415	1418 - 1439	1408 - 1446	1422 - 1428
SR26-1	19769	1425	556	22	1327 - 1415	1317 - 1424	1411 - 1417	1408 - 1430	1401 - 1440	1424 - 1430
SR24-1	19768	1427	490	21	1420 - 1438	1412 - 1444	1413 - 1419	1437 - 1453	1424 - 1460	1426 - 1432
SR22-1	19767	1429	489	21	1421 - 1438	1412 - 1444	1415 - 1421	1438 - 1453	1424 - 1460	1428 - 1434
SR20-1	19766	1431	520	21	1409 - 1429	1332 - 1439	1417 - 1423	1425 - 1445	1414 - 1451	1430 - 1436
SR18-1	19765	1433	496	21	1418 - 1436	1411 - 1442	1419 - 1425	1435 - 1451	1423 - 1457	1432 - 1438
SR16-1	19764	1435	510	21	1413 - 1431	1405 - 1440	1421 - 1427	1430 - 1448	1418 - 1453	1434 - 1440
SR14-1	19763	1437	520	22	1409 - 1429	1331 - 1439	1423 - 1429	1425 - 1445	1413 - 1451	1436 - 1442
SR12-1	19761	1439	489	22	1421 - 1438	1412 - 1444	1425 - 1431	1437 - 1453	1422 - 1461	1438 - 1444
SR10-1	19760	1441	491	21	1420 - 1437	1412 - 1443	1427 - 1433	1437 - 1453	1424 - 1459	1440 - 1446
SR8-1	19759	1443	493	22	1419 - 1437	1411 - 1443	1429 - 1435	1436 - 1452	1422 - 1459	1442 - 1448
SR6-1	19758	1445	489	22	1421 - 1438	1412 - 1444	1431 - 1437	1437 - 1453	1422 - 1461	1444 - 1450
SR4-1	19757	1447	463	22	1430 - 1446	1418 - 1451	1433 - 1439	1442 - 1475	1434 - 1497	1446 - 1452
SR2-1	19756	1449	484	24	1422 - 1440	1412 - 1446	1435 - 1441	1438 - 1456	1422 - 1478	1448 - 1454

* 各試料の ^{14}C 年代と年輪間隔 (年数差 2 年) をもとに、OxCal v4.2.1 (Bronk Ramsey 2013) を使用して、最も確率の高い校正暦年代範囲を推定した。

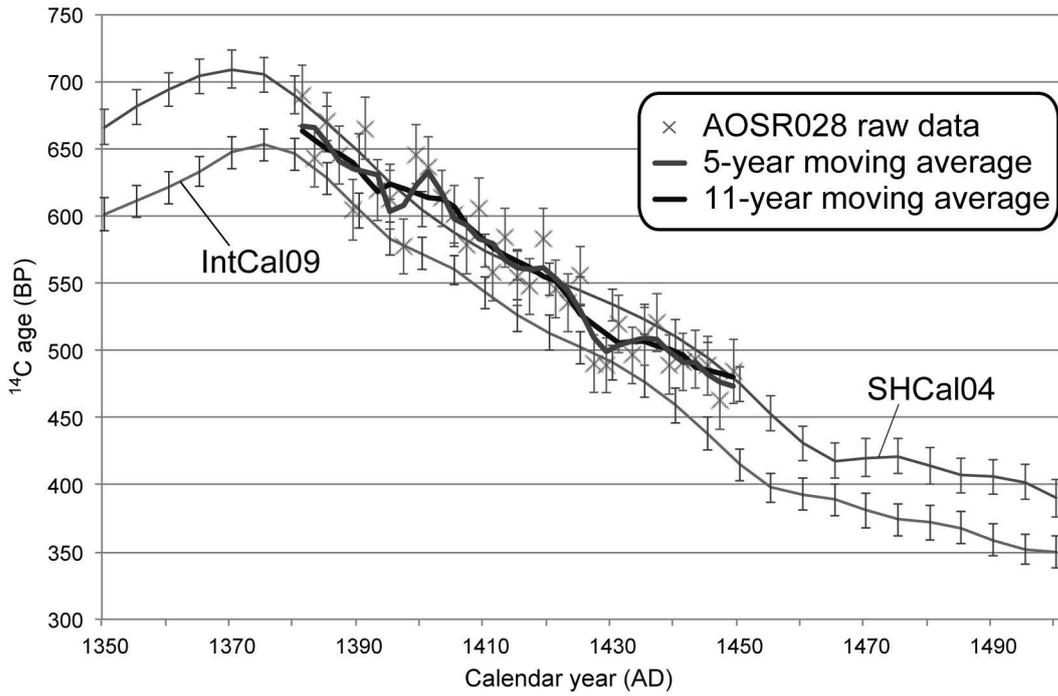


図2 IntCal09(Reimer et al. 2009)およびSHCal04(McCormac et al. 2004)と北日本産アスナロ埋没材年輪試料35点の¹⁴C年代の比較

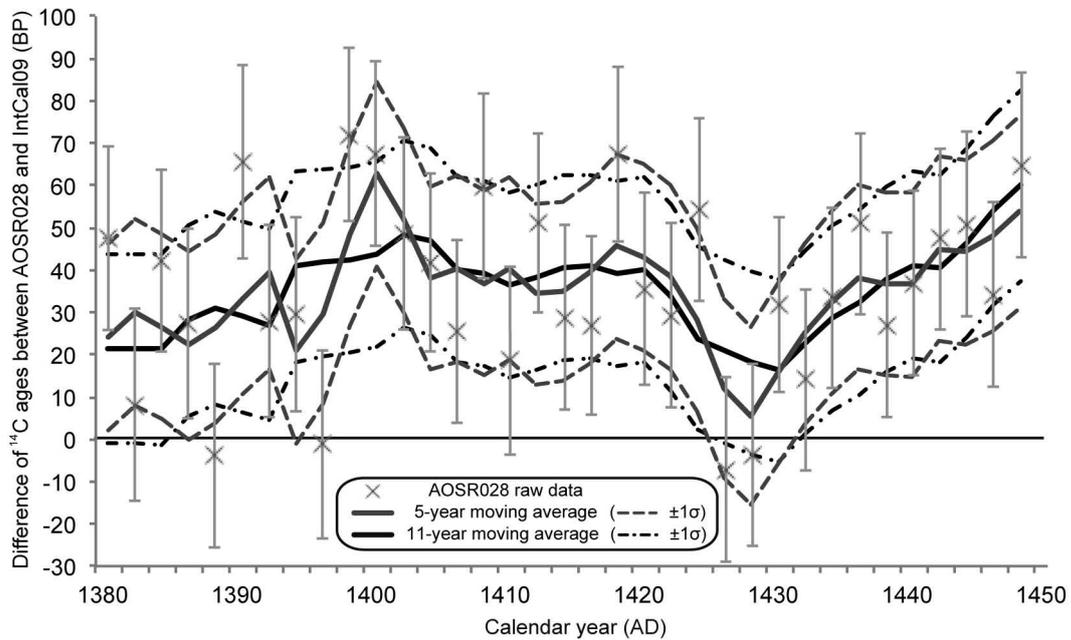


図3 IntCal09(Reimer et al. 2009)と北日本産アスナロ埋没材年輪試料35点の¹⁴C年代の差
IntCal09の中央値を0としてAOSR028の¹⁴C年代(x印)とその5年(灰色線)および11年移動平均(黒色線)をプロットした。

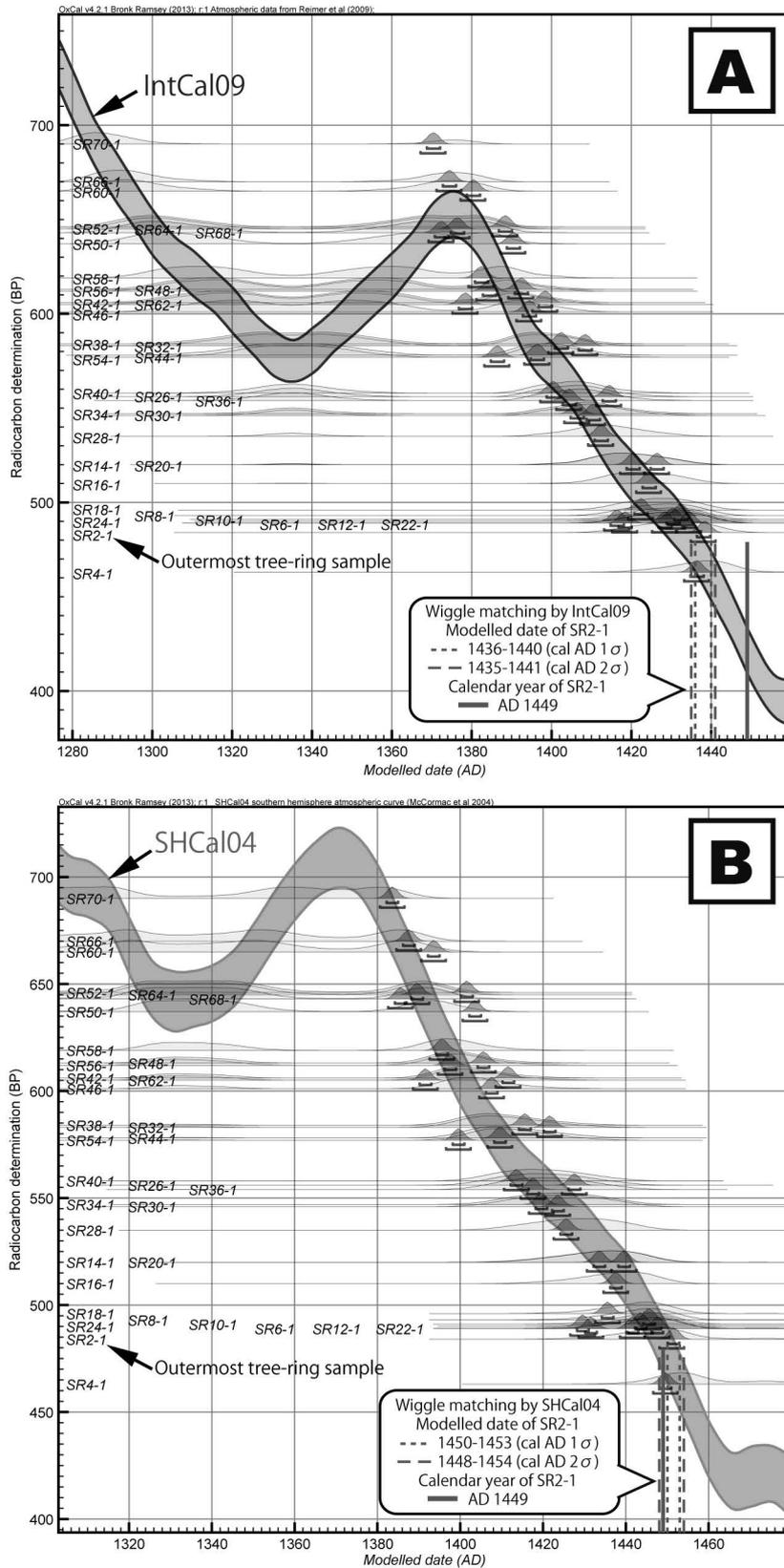


図 4 北日本産アスナロ埋没材年輪試料 35 点の ^{14}C Wiggle matching の結果

各試料の ^{14}C 年代と年輪間隔 (年数差 2 年) をもとに、OxCal v4.2.1 (Bronk Ramsey 2013) を使用して、最も確率の高い較正暦年代範囲を推定した。測定試料のうち最も外側の年輪試料 (SR2-1) の較正暦年代範囲を破線で暦年代を太実線で示した。

- (A) IntCal09 による推定結果：暦年代 (実年代) より 8-14 年古い較正暦年代範囲 (2σ) が推定された。
- (B) SHCal04 による推定結果：暦年代 (実年代) を含む較正暦年代範囲 (2σ) が推定された。

点が 1σ 、7 点が 2σ の較正暦年代範囲内に暦年代が推定され、全ての試料において 2σ の範囲内に暦年代が推定された(表 1)。

各試料を時系列試料として、IntCal09 および SHCal04 に対し、 ^{14}C ウィグルマッチングを行った結果、暦年代 1449 年の年輪試料 SR2-1(測定試料中最外年輪)の較正暦年代範囲は、IntCal09 では 1435 - 1441 cal AD (2σ)と 8-14 年古く推定された。一方で、SHCal04 では 1448 - 1454 cal AD (2σ)と暦年代を含む範囲が推定された(図 4)。

4. 考察

今回の測定により、青森県下北半島産アスナロ埋没材の西暦 1381 年-1449 年の年輪において、その ^{14}C 年代がほぼ継続的に IntCal09 よりも 35 年程度古くなることが示された。これまで、日本産資料では、箱根産スギ埋没材の西暦 100 年から 200 年の年輪において、IntCal よりも 30-40 年程度古くなること(Sakamoto et al. 2003)、屋久島産スギ材のほぼ同時期の年輪において、45-60 年程度古くなること(吉光・中村 2012)が確認されてきた。今回の測定によって、これらに比肩する大きなずれが、中世期の北日本産資料にも存在することが明らかになった。これは、中央・南日本のみならず、北日本でも過去に大気中 ^{14}C 濃度の地域的不均一、すなわち地域効果が生じていたことを強く示唆する結果である。

今回の分析では、各試料の ^{14}C 年代を IntCal09 で暦年較正した場合に、約 3 割の試料において真の暦年代を含まない暦年代範囲が推定された。さらに、35 点という比較的多数の試料の ^{14}C 年代をもとにウィグルマッチングを試みたが、IntCal09 では真の暦年代を含まない暦年代範囲が推定された。ところが南半球用の較正曲線である SHCal04 で同様の分析をすると、全ての試料で問題無く真の暦年代を含む暦年代範囲が示され、ウィグルマッチングでも誤差 ± 3 年のうちに真の暦年代を含むという極めて良好な推定結果が得られた(図 4)。今回の結果に類似する例として、箱崎ほか(2011)は、青森市石江遺跡群新田(1)遺跡から出土した 8 世紀半ばから 11 世紀半ばの年輪をもつアスナロ材のウィグルマッチング結果が、年輪年代法で与えられていた暦年代(光谷 2007)よりも 1-85 年古い暦年代範囲(2σ)を示すことを報告し、北日本にも ^{14}C 濃度の地域効果が存在していた可能性を指摘した。今回の試料は、この新田(1)遺跡試料とは年代的に異なるものの、地球上の炭素循環の観点からみれば同じ地域産とみなされる。今回の結果と併せて考えれば、中世期の北日本に生育した樹木の ^{14}C 年代は、他の北半球のものに比べて系統的に古くなっている可能性がある。考古学・歴史学の分野では、歴史時代資料の ^{14}C 年代測定結果をもとに、ときに数年から十数年の年代差を議論することがある。今回の分析結果を見る限り、同地域の当該時期における考古学・歴史学資料の ^{14}C 年代を

IntCal09 によって暦年較正することは、真の暦年代から外れた暦年代範囲を推定するおそれがあり、誤った年代差の議論を生み出しかねない。日本全土の高精度暦年較正を確立するためにも、この地域効果がいつからいつまでの年代範囲に認められるかを、引き続き、北日本産樹木年輪から調べていく必要がある。

日本において大気中 ^{14}C 濃度の地域効果が生じる原因のひとつに、南半球からの大気の供給が考えられている(中村ほか 2012)。過去 3 年間の気団の動き(図 1)からも、南日本では樹木の肥大成長が旺盛な時季に、赤道付近から継続して大気の供給があることがわかる。夏場は熱赤道が北緯 20° 付近まで上がるため、その供給がさらに強まっていることも予想される。そのような立地であれば、地域効果が顕在化する理由は分かるものの、北日本では、夏場に南半球からの大気の供給をあまり受けていない(図 1)。当然のことながら、中世においては、北緯 40° 付近まで南半球の大気が供給されていた可能性を考えなくてはならない。しかし、次のような結果も見られたことから、単純に同じ理屈で地域効果が生じたと解釈するべきではないと考える。今回の測定結果のなかで、西暦 1399-1411 年において、SHCal04 よりもさらに古い ^{14}C 年代が継続して得られていた(図 2)。このことから、当時の北日本は南半球の大気そのものよりもさらに低い大気中 ^{14}C 濃度の条件下にあったと推測される。これは北日本が「南半球からの大気の供給」以外の「大気中 ^{14}C 濃度低下を引き起こす要因」を抱えていたことを示唆し、地域効果を解明する上で無視できない結果である。当時の北日本における年々の気候解析はまだほとんど進められていないため、どのようなメカニズムによってこのように非常に低い ^{14}C 濃度の大気をもたらされたかを推測することは難しい。これを解明するためには、本調査と同一試料を用いて、年輪内密度や酸素同位体比、 ^{13}C 濃度を調べ、当時の気候条件を復元する必要がある。それらの情報を総合し、大気中 ^{14}C 濃度の地域効果が生じた原因を解明することも、今後の重要な課題である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、東北大学植物園大山幹成博士には試料をご提供頂いた。名古屋大学太陽地球環境研究所の増田公明准教授には、試料の化学処理に必要な同研究所実験設備の使用を許可して頂いた。同研究所三宅美沙氏には化学処理の方法をご指導頂いた。名古屋大学年代測定総合研究センター池田晃子氏には、 CO_2 精製、グラファイト生成、ターゲット作成までの手順をご指導頂いた。同センター長・中村俊夫教授には、タンデム AMS2 号機により試料の ^{14}C 濃度を測定して頂いた。以上の皆様に衷心より感謝します。なお、本研究は名古屋大学年代測定総合研究センター新研究創成経費を使用した成果である。

引用文献

- Bronk Ramsey C. 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51(1): 337-360.
- Bronk Ramsey C, van der Plicht J, Weninger B. 2001. 'Wiggle matching' radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 43(2A): 381-389.
- 千釜章・多田省一郎・青沼正光. 1998. 下北半島における津波の伝承の解釈と埋没ヒバ林の成因. *地震*, 51(1): 61-73.
- 箱崎真隆・大山幹成・星野安治・佐々木由香. 2011. 新田(1)遺跡出土木材の年輪年代測定と放射性炭素年代測定から推定される遺構間の年代関係. 石江遺跡群発掘調査報告書 IV - 石江土地区画整理事業に伴う発掘調査(第2分冊: 石江遺跡群分析編2), 青森市埋蔵文化財報告書第108集-2, 青森市教育委員会.
- 箱崎真隆. 2012. 完新世後期針葉樹埋没林の年輪年代学的研究. 東北大学博士論文.
- 東通村教育委員会. 1979. 東通村ヒバ埋没林調査報告書. 東通村.
- Hogg AG, McCormac FG, Higham TFG, Reimer PG, Baillie MGL, Palmer JG. 2002. High-precision ^{14}C measurements of contemporaneous tree-ring dated wood from the British Isles and New Zealand: AD 1850–950. *Radiocarbon*, 44(3): 641-651.
- McCormac FG, Hogg AG, Blackwell PG, Buck CE, Higham TFG, Reimer PJ. 2004. ShCal04 Southern Hemisphere calibration, 0–11.0 cal kyr BP. *Radiocarbon*. 46(3): 1087–1092.
- 光谷拓実. 1993. 年輪年代法による井戸枳材・曲物類・板材の年代測定. 高野川(2)遺跡, 青森県埋蔵文化財調査報告書第153集, 青森県教育委員会.
- 光谷拓実. 2005. 十三湊遺跡出土木材の年輪年代調査. 十三湊遺跡(第V分冊), 青森県埋蔵文化財調査報告書第398集, 青森県教育委員会.
- 光谷拓実. 2007. 年輪年代法による新田(1)、高間(1)遺跡出土木材の年代測定. 石江遺跡群発掘調査報告書—東北新幹線建設事業に伴う発掘調査—, 青森市埋蔵文化財調査報告書第94集, 青森市教育委員会.
- 中村俊夫・増田公明・三宅美沙・永治健太郎・吉光貴裕. 2012. ^{14}C 年代から暦年代への較正に関連する諸問題. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, XXIII: 69-75.
- Ohyama M, Ohwada M, Suzuki M. 2007. Chronology development of Hiba arbor-vitae (*Thujaopsis dolabrata* var. *hondae*) and dating of timbers from an old building. *Journal of Wood Science*, 53: 367-373.
- 岡本透・大丸裕武・池田重人・吉永秀一郎. 2000. 下北半島北東部に分布するヒバ埋没林の成因に関わる人為的影響. *第四紀研究*, 39(3): 215-226.
- Reimer PJ, Baillie MGL, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Bertrand CJH, Blackwell PG, Buck CE, Burr GS, Cutler KB, Damon PE, Edwards RL, Fairbanks RG, Friedrich M, Guilderson TP,

Hogg AG, Hughen KA, Kromer B, McCormac FG, Manning SW, Ramsey CB, Reimer RW, Remmele S, Southon JR, Stuiver M, Talamo S, Taylor FW, van der Plicht J, Weyhenmeyer CE. 2009. IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 51(4): 1029-1058.

Sakamoto M, Imamura M, van der Plicht J, Mitsutani T, Sahara M. 2003. Radiocarbon calibration for Japanese wood samples. *Radiocarbon*, 45(1): 81-89.

吉光貴裕・中村俊夫. 2012. 日本産樹木年輪の炭素 14 濃度測定および IntCal09 との比較検討. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, XXIII: 57-62.