

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 10 日現在

機関番号：64303

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26740008

研究課題名(和文)ヤクスギ年輪の酸素同位体比による過去2000年間の夏季モンスーン変動の高精度復元

研究課題名(英文)Variations in summer monsoon intensity over the past 2000 years in southwestern Japan, as reconstructed from tree-ring oxygen isotopes

研究代表者

佐野 雅規 (Sano, Masaki)

総合地球環境学研究所・研究部・プロジェクト上級研究員

研究者番号：60584901

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：ヤクスギの現生木や土埋木から採取した21個体の試料を用いて、過去1772年にわたる年輪セルロースの酸素同位体比の標準曲線を構築した。その変動パターンは、個体間で良く同調しており、測候所のデータとの比較から夏季の相対湿度や降水量を反映していることが分かった。時系列の長周期変動に着目すると、いわゆる中世温暖期は乾燥し、小氷期は湿潤であったほか、20世紀に入ってから乾燥化が顕著に進行していることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：A total of 21 core samples collected from living and dead trees of Japanese cedar in Yakushima Island were used to construct a 1772-year tree-ring oxygen isotope chronology. Response analysis with ambient meteorological stations indicated that the oxygen isotope ratios of this chronology were significantly and negatively correlated with relative humidity and amounts of precipitation. Overall, a relatively dry (wet) condition was found in the Medieval Warm Period (the Little Ice Age). In addition, a notable drying trend was identified in the 20th century.

研究分野：古気候学

キーワード：年輪年代学 東アジアモンスーン 屋久島 気候復元 中世温暖期 小氷期

1. 研究開始当初の背景

これまでの樹木年輪による研究は、気温(降水量)が成長の制限要因となる、寒冷地(乾燥地)に自生する樹木を対象とし、計測の極めて容易な年輪幅を用いて過去の気候を復元してきた。一方、日本などの温暖・湿潤な地域に生える樹木は、水や光をめぐる隣接木との競合など生態的な影響を強く受けるため、気温あるいは降水量の変化に対する樹木の感度が鈍く、年輪幅から気候の情報を高精度で抽出することが困難であった。しかし、近年の研究により、年輪セルロースの酸素同位体比は、このような生態的な影響を受けず、降水量や相対湿度などの環境因子によって物理化学的に決まるため、年輪幅が使えない樹木であっても過去の気候を精確に記録していることが分かってきた。

日本では、一般に現生木の樹齢はせいぜい数百年なので、異なる時代の埋没木や古建築部材などを粘り強く収集して、それらの時系列データを繋ぎ合わせていく以外に、2000年前まで遡る連続した年輪データを取得する術がない。ただし、屋久島では、例外的に樹齢1000年を超えるスギが現在も残存していることに加え、土埋木と呼ばれる古材(倒木、切株、過去の伐採で搬出されず残置された材木)が今でも定期的に山から下ろされているので、他の地域よりも長期年輪データの取得が格段に容易となる。

以上の背景から、本研究では、ヤクスギの年輪セルロースに含まれる酸素同位体比を多数測定し、東アジアにおける夏季モンスーンの活動を1年単位の分解能で復元することにした。

2. 研究の目的

樹木年輪のセルロースに含まれる酸素同位体比($^{18}O/^{16}O$)が、過去の降水量や相対湿度の変動を精確に記録しているという知見に基づいて、以下の目的で研究を進めた。

- 1) ヤクスギの現生木に加え、時代の異なる複数の土埋木も利用し、各時代の時系列データをつなぎ合わせることで、過去2000年間にわたる連続した酸素同位体比の標準年輪曲線を構築する。
- 2) 気象観測データとの比較に基づき、過去2000年間にわたる夏季のモンスーン活動を1年単位で復元する。
- 3) 中世温暖期や小氷期など気候が自然に大きく変化した時代も含め、日本南西部におけるモンスーン活動の変遷をグローバルな大気大循環と関連づけて解析し、気候変動のメカニズムについて考察する。

3. 研究の方法

本研究では、研究協力者(福島大学・木村勝彦)から提供されたヤクスギの年輪試料を主に利用した。これらのサンプルについては、

年輪幅の変動パターンの個体間比較により、年輪の形成年代が既に確定している。

年輪セルロースの酸素同位体比を気候復元研究に利用していく上で一番大きな問題は、データの取得に大変な時間と手間と費用がかかることであった。中でも、木材サンプルからセルロースを抽出する工程で多大な時間と手間がかかる。そこで、研究協力者(森林総合研究所・香川聡、総合地球環境学研究所・中塚武)と協同して、セルロースの抽出方法を改良した。具体的には、年層を1枚毎に切り分けて粉碎した後、個別に化学処理を施す従来の方法を改め、年輪が100層以上含まれている板状のサンプルを作成し、「板」のまま直接試験管に入れて化学処理することで作業効率を大幅に改善した。

セルロースを単離した「板」から、顕微鏡下で、年層毎に100~250 μ gのサンプルを切り出し、銀箔に梱包した。次いで、熱分解元素分析機でサンプルをCOガス化し、それを質量分析計に自動的に送り、サンプルの酸素同位体比($\delta^{18}O$)を測定した。

複数個体の酸素同位体比を平均して、サイトを代表するクロノロジーを構築し、近隣の気候データを用いて、同位体比の変動を左右する気候要素を明らかにした。

4. 研究成果

どの時代についても最低5個体の時系列データが重複するように酸素同位体比を個別に測定した。個体間でのデータの再現性を統計的に評価した結果、過去1500年間にわたって信頼度の高い標準年輪曲線を構築することができた(図1)。なお、一番古い個体は、西暦238年まで遡り、当初の目標としていた2000年間には及ばなかったものの、全長1772年間の時系列データを取得するに至った。

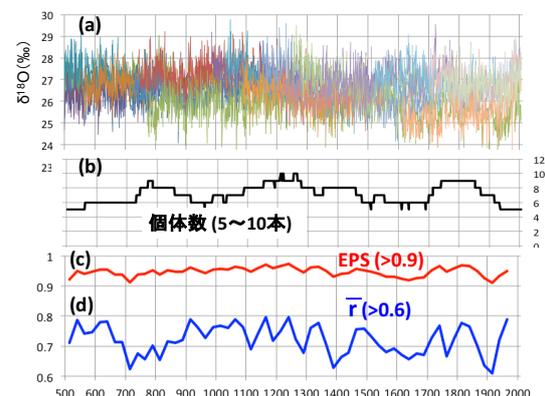


図1. 過去1500年間の21個体の年輪酸素同位体比データ(a)、時代ごとの個体数の推移(b)、データ再現性の使用であるEPS(0.85を超えると信頼度が高い)の推移(c)、個体間の平均相関係数の推移(d)

種子島の測候所のデータとの比較から、構築した年輪曲線の酸素同位体比は、夏季(5-9月)の相対湿度や降水量を反映して変動していることが明らかになった(図2)。

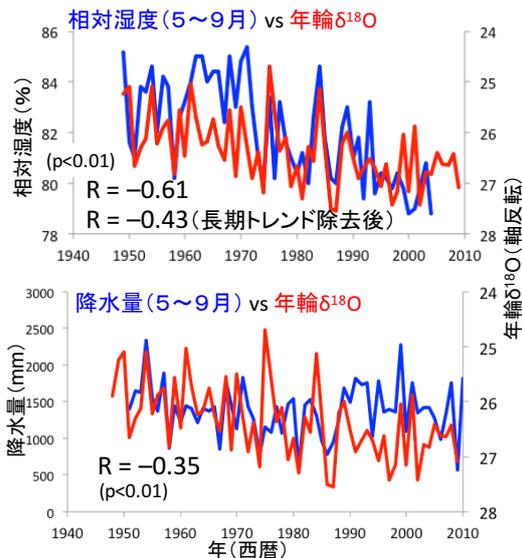


図2. 相対湿度(上)・降水量(下)に対する年輪酸素同位体比の応答

中部日本産のヒノキを用いた先行研究では、加齢による酸素同位体比の減少傾向が確認されており、数百年スケールの長周期変動を復元することが困難であった。他方、本研究で用いたスギには、そういった樹齢効果が確認されず、長周期の変動成分を抽出することができた。

過去 1500 年間にわたる酸素同位体比時系列の長周期変動に着目すると、いわゆる中世温暖期は乾燥し、小氷期は湿潤であったほか、20 世紀に入ってから乾燥化が顕著に進行していることが明らかとなった。

東アジア各地の気候復元データと比較したところ、西南日本における長周期の乾湿変動は、中国・南東部の乾湿変動と同じ位相を示す一方で、中国・北東部の乾湿変動と逆位相を示すことが明らかとなった。さらに、海洋のプロキシデータとの比較から、アジアにおける乾湿変動の空間分布は、熱帯太平洋の海水温変動によって規定されていることが示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

- ① Kagawa, A., Sano, M., Nakatsuka, T., Ikeda, T., and Kubo, S. (2015) An optimized method for stable isotope analysis of tree rings by extracting cellulose directly from cross-sectional laths. *Chemical Geology* 393–394: 16–25, DOI:10.1016/j.chemgeo.2014.11.019
- ② Xu, C., Pumijumng, N., Nakatsuka, T., Sano, M., and Li, Z. (2015) A tree-ring cellulose $\delta^{18}\text{O}$ -based July - October precipitation reconstruction since AD 1828,

northwest Thailand. *Journal of Hydrology* 529: 433–441, DOI:10.1016/j.jhydrol.2015.02.037

- ③ Li, Z., Nakatsuka, T., and Sano, M. (2015) Tree-ring cellulose $\delta^{18}\text{O}$ variability in pine and oak and its potential to reconstruct precipitation and relative humidity in central Japan. *Geochemical Journal* 49: 125–137, DOI:10.2343/geochemj.2.0336
- ④ Shi, F., Ge, Q., Yang, B., Li, J., Yang, F., Ljungqvist, F., Solomina, O., Nakatsuka, T., Wang, N., Zhao, S., Xu, C., Fang, K., Sano, M., Chu, G., Fan, Z., Gaire, N., and Zafar, M. (2015) A multi-proxy reconstruction of spatial and temporal variations in Asian summer temperatures over the last millennium. *Climatic Change* 131: 663–676, DOI:10.1007/s10584-015-1413-3
- ⑤ Xu, C., Zheng, H., Nakatsuka, T., Sano, M., Li, Z., and Ge, J. (2016) Inter- and intra-annual tree-ring cellulose oxygen isotope variability in response to precipitation in Southeast China. *Trees* 30: 785–794, DOI:10.1007/s00468-015-1320-2
- ⑥ Xu, C., Ge, J., Nakatsuka, T., Yi, L., Zheng, H., and Sano, M. (2016) Potential utility of tree ring $\delta^{18}\text{O}$ series for reconstructing precipitation records from the lower reaches of the Yangtze River, southeast China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 121: 3954–3968, DOI:10.1002/2015jd023610
- ⑦ 鎌谷かおる・佐野雅規・中塚武 (2016) 日本近世における年貢上納と気候変動 - 近世史研究における古気候データ活用の可能性をさぐる - *日本史研究* 646: 36–56.
- ⑧ 山田浩世・佐野雅規 (2017) 近世後期の琉球における気候変動災害の展開と社会応答 -1780 年代の災害と上からの村落立て直し- *首里城研究* 19: 4–19.
- ⑨ Xu, C., Zhu, H., Nakatsuka, T., Sano, M., Li, Z., Shi, F., Liang, E., and Guo, Z. (2017) Sampling strategy and climatic implication of tree-ring cellulose oxygen isotopes of *Hippophae tibetana* and *Abies georgei* on the southeastern Tibetan Plateau. *International Journal of Biometeorology*, DOI:10.1007/s00484-017-1365-6

[学会発表] (計 8 件)

- ① 佐野雅規, 安江恒, 木村勝彦, 中塚武: ヤクスギ年輪の酸素同位体比クロノロジー

の構築 -夏季モンスーンの復元に向けて
- 日本地球惑星科学連合 2014 年大会. 横浜市. 2014 年 04 月.

- ② Sano, M., Yasue, K., Kimura, K., and Nakatsuka, T. A 1500-year hydroclimate record in southwestern Japan inferred from tree-ring $\delta^{18}\text{O}$. The 4th International Asian Dendrochronological Conference. Kathmandu, March 2015.
- ③ Sano, M., Yasue, K., Kimura, K., and Nakatsuka, T. Hydroclimate variability in southwestern Japan over the last 1500 years reconstructed from oxygen isotope ratios in tree rings. EGU General Assembly 2015. Vienna, April 2015
- ④ 佐野雅規, 木村勝彦, 安江恒, 中塚武: ヤクスギ年輪の酸素同位体比による過去 1500 年間の夏季モンスーンの復元. 日本地球惑星科学連合 2015 年大会. 千葉市. 2015 年 5 月.
- ⑤ Sano, M., Yasue, K., Kimura, K., and Nakatsuka, T. Summer monsoon variability over the past 1500 years in southwestern Japan, as reconstructed from oxygen isotope ratios in tree-ring cellulose. XIX INQUA 2015, Nagoya, July 2015
- ⑥ Sano, M., Yasue, K., Kimura, K., Chen, S-H., Chen, I-C., Xu, C., and Nakatsuka, T. Societal responses to decadal-scale climate changes in Early Modern Japan revealed by tree-ring records and historical documents. The Third Conference of East Asian Environmental History (EAEH 2015), Takamatsu, October 2015
- ⑦ 佐野雅規, 鎌谷かおる, 中塚武: 近世日本における気候変動が米収量に及ぼす影響の評価 - 樹木年輪と免定に基づく解析. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会. 千葉市. 2016 年 5 月.
- ⑧ 佐野雅規: 年輪酸素同位体比データに基づく気候復元研究の現状と展望. 第 19 回日本 AMS・2016 年度樹木年輪研究会. 佐倉市. 2016 年 12 月.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:

種類:
番号:
出願年月日: 平成 年 月 日
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日: 平成 年 月 日
取得年月日: 平成 年 月 日
国内外の別:

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐野 雅規 (SANO, Masaki)
総合地球環境学研究所・研究部・プロジェクト上級研究員
研究者番号: 60584901

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: