

平成 30 年 5 月 22 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26281003

研究課題名(和文) 樹木年輪の幅・酸素・炭素および窒素安定同位体比を用いた生態系総合環境変動解析

研究課題名(英文) Tree ring width, oxygen, carbon and nitrogen isotope analyses for ecosystem change

研究代表者

杉本 敦子 (Sugimoto, Atsuko)

北海道大学・北極域研究センター・教授

研究者番号：50235892

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：年輪の酸素・窒素同位体比分析ラインを立ち上げ、モンゴル国北部の森林帯を対象地域とし、年輪幅と年輪炭素・窒素・酸素同位体比を測定した。炭素及び酸素同位体比は、似た傾向を示し、乾燥が進むほど高い値を示した。森林内と草原境界を比較し、近年の年輪では、草原境界のカラマツ年輪は高い窒素含量となった。年輪窒素同位体比の変動は、5年ごとの値として分析し、気温や降水量と明瞭な関係は見られなかった。森林内と草原境界それぞれで異なる変動を示し、生態系の窒素動態の変動を表している可能性が高い。草原境界のカラマツは、乾燥により成長が制限されるのではなく、日射・窒素循環の速さにより成長が維持されていると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Analyses lines were developed for tree ring oxygen and nitrogen isotopes. Carbon, oxygen and nitrogen isotopes were analyzed for tree ring samples obtained from taiga at north Mongolia. Carbon and oxygen isotopes showed similar trend, with higher values under dryer conditions. Higher nitrogen was observed for tree ring at grassland boundary than that at forest site. Nitrogen isotope was also observed for 5-year period, and no clear correlations with temperature and precipitation fluctuations were observed. These tree ring nitrogen isotopes at forest site and grassland boundary showed different trends, and suggested nitrogen dynamics at each ecosystem. Growth of larch trees at grassland boundary seem to be limited due to a dry condition, however sufficient light and nitrogen conditions may contribute the growth of trees.

研究分野：生物地球科学

キーワード：モンゴル 年輪同位体 タイガ林 土壌水分 窒素循環

1. 研究開始当初の背景

樹木年輪は、1年ごとの短い時間スケールで過去に遡って解析が可能で、年々の降水量や気温の変動、土地利用の変化などを知る手がかりとして貴重な情報となる。年輪気候学の分野では年輪幅の解析から、過去の気温や降水量などの復元が行われてきた。加えて年輪の炭素同位体比は、分析が比較的容易であることから、酸素や窒素同位体比と比較すると多数の研究例があり、水利用効率、土壌水分や PDSI (植生乾燥指数) の復元が試みられるようになり、多くの研究例で成功している。一方、年輪の窒素同位体比は樹木が利用する窒素同位体比を反映していると考えられるが、年輪内の流動性窒素の問題など、始まったばかりの分野であると言える。

2. 研究の目的

モンゴル国北部・中国内蒙古の森林帯を対象地域とし、年輪幅と年輪炭素・窒素・酸素同位体比から、樹木生長の規定要因、水分環境および生態系の窒素動態の過去約100年間の変化を総合的に解析する。窒素循環は水循環変化に伴う変化と人間活動の影響のシグナルを分けて読み取る解析方法を検討する。また、NDVI (正規化差植生指数: 人工衛星による植生の豊かさを示す指数) と年輪幅・同位体比を比較し、森林樹木の生育環境の変動性を時間的 (年輪から)・空間的 (NDVI から) に解明し、モンゴル北部森林生態系の脆弱性を評価する。

3. 研究の方法

モンゴル国北部・中国内蒙古のカラマツ林において、降水量 (および乾燥の度合い) と人間活動の影響の強さが異なる環境傾度に沿って樹木年輪と葉・土壌を採取し、カラマツ光合成速度の現場観測、土壌水・植物中の水などの同位体比の観測を行う。過去約100年間の年輪幅、炭素・酸素・窒素同位体比クロノロジーを作成し、年輪幅、炭素同位体比、酸素同位体比、窒素同位体比のシグナルを読み取る。また、森林と隣接する草原域の NDVI (植生の豊かさを示す人工衛星データ) を利用し、年輪パラメータとあわせて森林環境の変動性を時間的・空間的に明らかにし、タイガ林南限の森林の脆弱性を評価する。

4. 研究成果

(1) 年輪酸素同位体比と窒素同位体比の分析ラインの立ち上げ

酸素同位体比:

北大で現有する極めて安定性が高い質量分析計 (MAT253) を利用し、リファレンスガスを流さず、既知の同位体比をもつセルロースをリファレンスとし、CO を使用しない酸素同位体比の分析方法を立ち上げた。セルロースの抽出と生材の酸素同位体比を比較すると変動の傾向は一致し、環境変動との比較は生材の酸素同位体比でも可能であった。しかしながら、生材よりもセルロース抽出したものでデータのばらつきは小さく、精度を上げて行くためにはセルロースの抽出を行う必要がある。

窒素同位体比:

木材を燃焼させて大量に発生する CO₂ を吸収剤で吸収させ、窒素をモレキュラーシーブ 5A のフィンガートラップ (小さな体積の U 字管) に捕集して濃縮する方法を立ち上げた。また、サンプル燃焼時に大量に発生する水分を吸収するため、Nafion チューブ (パーマピュアドライアー) を用いた分析ラインを使用した。セルロース抽出したものと生材の同位体比を比較すると、同様な関係が見られた。一方で、窒素含量について、流動性窒素の影響を除くためには、トルエン・エタノールにより除去を行う必要がある。

(2) 炭素同位体比とアロケーション

最も研究が進む炭素同位体比は、炭素が光合成により固定されたときから年輪に入るまでのタイムラグを考えたアロケーションをトレーサ実験により明らかにした。夏前半および夏後半に光合成で固定された炭素は、その時点での年輪炭素として固定されるが、夏後半に固定された炭素は、翌年の年輪形成にも利用されることがわかった。モンゴルカラマツの年輪は、気温と土壌水分の影響を強く受けている。その年および前年の気温および土壌水分がその年の年輪形成に加え、翌年の年輪形成にも影響していた。

(3) 酸素同位体比

モンゴルカラマツ年輪の酸素同位体比は炭素同位体比の変動傾向に類似した変動を示し、気温および降水量との関係が見られた。一方、酸素同位体比は時折、スパイク状の低下や上昇が見られた。これらは、モンゴルの乾燥気候帯で、乾燥状況により大きな影響をうけたと考えられる。

年輪酸素同位体比は、観測で得られた土壌中の水の酸素同位体比に影響を受けていた。礫の多いモンゴル土壌では、水の流れが礫や岩石によって影響され、土壌水の同位体のばらつきが大きかった。当然のことながら、このばらつきは年輪酸素同位体比に影響している。

シベリア(ロシア)のカラマツ年輪では、セルロースを抽出した解析を行った。この結果、酸素同位体比は、土壌水分の変動に似た変動を示し、乾燥時に東シベリアカラマツの年輪セルロースの酸素同位体比は低下することがわかった。

(4) 窒素同位体比

年輪窒素同位体比の分析は、1960年以降の60年分の年輪を5年分ずつにわけて、分析を行なった。5年ごとの分析では、気温や降水量、PDSIとは明瞭な関係は見られなかった。しかしながら、森林内と草原の年輪は、それぞれ異なるばらつきを示し、長期の土壌水分や栄養塩などの違いを反映している可能性がある。今回の分析では、森林内と草原のそれぞれ2個体ずつを分析した。森林内と草原では、それぞれの場所ごとに異なる変動が見られた。

(5) 物質循環と炭素・酸素・窒素同位体比

本研究当初には、葉の窒素同位体比は森林内と草原の水循環の違いで変化が生じる可能性があると考えていたが、モンゴルでは有機層の堆積過程の差、すなわち窒素循環の様式の違いが葉と年輪同位体比に影響を及ぼすことが明らかとなった。モンゴルの年輪窒素同位体比からは、人為起源の大気降下物等の影響は明らかにできなかったが、森林内と草原での利用可能な窒素量・窒素同位体比の変化をあらわしている可能性がある。森林内と草原境界それぞれで異なる同位体変動を示し、生態系の窒素動態の変動を表している可能性が高い。草原境

界のカラマツは、乾燥により成長が制限されるのではなく、日射・窒素循環の速さにより成長が維持されていると考えられる。

炭素同位体比と酸素同位体比は類似した変動が見られたが、酸素の変動の1~2年後に炭素のピークが見られる場合があった。これらの傾向は、酸素の値がそのときの乾燥状況(土壌及び大気も)により依存し、翌年以降の年輪形成では炭素の値が遅れを示している可能性がある。モンゴル年輪炭素同位体比は、1990年以降、上昇している可能性がある。酸素についても、同様に高い値が見られた。酸素同位体比に関しても、同様に高い値が見られており、降水量の減少や気温の上昇が原因の可能性もある。

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)

Inagaki, T., Yonenobu, H., Asanuma, Y., Tsuchikawa, S. Determination of physical and chemical properties and degradation of archeological Japanese cypress wood from the Tohyamago area using near-infrared spectroscopy, *Journal of Wood Science*, 査読有, 2018,

Doi: 10.1007/s10086-018-1718-8

Sofue, Y., Hoshino, B., Demura, Y., Kai, K., Baba, K., Nduati, E., Kondoh, A. and Sternberg, T. Satellite Monitoring of Vegetation Response to Precipitation and Dust Storm Outbreaks in Gobi Desert Regions. *Land*, 査読有, 7(19), 1-13, 2018, Doi:10.3390/land7010019

Na, Y., Hoshino, B., Kawamura, S., Serod, T. Population changes behind grassland degradation in Horqin region of Inner Mongolia, China *Research of One Health* 1, Jan.2018, 査読有, 2018, 1-17,

<https://www.researchgate.net/publication/323028166>

Inagaki, T., Yonenobu, H., Asanuma, Y., Tsuchikawa, S. Determination of physical and chemical properties and degradation of archeological Japanese cypress wood from the

- Tohyamago area using near-infrared spectroscopy, *Journal of Wood Science*, 査読有, 2018, Doi: 10.1007/s10086-018-1718-8
- Sakashita, W., Miyahara, H., Yokoyama, Y., Aze, T., Nakatsuka, T., Hoshino, Y., Ohyama, M., Yonenobu, H., Takemura, K. Hydroclimate reconstruction in central Japan over the past four centuries from tree-ring cellulose $\delta^{18}O$ Quaternary International, 査読有, 455, pp. 1-7, 2017, Doi: j.quaint.2017.06.020.
- Li, F., Sugimoto, A. Effect of waterlogging on carbon isotope discrimination during photosynthesis in *Larix gmelinii* Isotopes in environmental and health studies, 査読有, 54, 63-77, 2017, Doi:10.1080/10256016.2017.1340886
- Sakashita, W., Miyahara, H., Yokoyama, Y., Aze, T., Nakatsuka, T., Hoshino, Y., Ohyama, M., Yonenobu, H., Takemura, K. Hydroclimate reconstruction in central Japan over the past four centuries from tree-ring cellulose $\delta^{18}O$ Quaternary International, 査読有, 455, pp. 1-7, 2017, Doi: j.quaint.2017.06.020.
- Fujiyoshi, L., Sugimoto, A., Tsukuura, A., Kitayama, A., Lopez, M. L., Mijidsuren, B., Saraadanbazar, A., Tsujimura, M. Spatial variations in larch needle and soil $\delta^{15}N$ at a forest-grassland boundary in northern Mongolia, *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 査読有, 52, 2016, Doi: 10.1080/10256016.2016.1206093
- 星野 弘方・ソリガ・祖父江侑紀・出村雄太・ツェデンバプレブスレン・永海. モンゴル草原の遊牧から定住への社会変遷と日本への影響, *共生社会システム研究*, 査読有, 9(1)巻 2015, 3-31, <https://ci.nii.ac.jp/naid/120006311877> [学会発表](計 16 件)
- 藤吉 麗, 杉本 敦子, 山下 洋平, 李 肖陽, 植物と土壌の窒素同位体比に対する土壌の窒素利用可能性の影響-北海道とモンゴルの針葉樹林の比較から-, 第65回日本生態学会大会, 2018年03月
- Hoshino, B., Detection of Environmental Regime Shifting in Semi-Arid Region and Simulation of Dust Emission from Dry Land. International Conference of Desert technology (DT13), 2018年03月
- Hoshino, B., Seasonal Dynamics for Vegetation Response to Precipitation and Detection of Environmental Regime Shifting in Semi-Arid Region. International Workshop on Asian Dust, Bioaerosols and Environmental Regime Shift. 2017年11月
- 星野 弘方, 乾燥環境下の植物の生存戦略と降水への応答. 第六回モンゴル高原環境問題研究会. 2017年09月
- Qiqin, Z., Lopez C. M. L., Sugimoto A., Wang, L., Liu, B. Evaluation of climate change in northeastern China by means of $d^{13}C$ in tree rings in the Great Xiang'An Mountain Region, European Geoscience Union 2017, 2017年04月
- Hayashi, M., Lopez C.M.L., et al. Nitrogen cycle inferred by $\delta^{15}N$ in larch stands in Mongolia. Present Forestry, Agriculture and Husbandry conditions in Mongolia, European Geoscience Union 2017, 2017年04月
- 星野 弘方, 環境レジームシフトとダストの発生, 名古屋大学・大学院日本学術振興会 (JSPS) 公開セミナー 2017年02月
- 星野 弘方, 乾燥環境下の植物の生存戦略と降水への応答, 公開シンポ「気候変動の中での(植物)生態系へのマクロ、ミクロからの考察～」2017年02月
- 星野 弘方, リモートセンシングを用いたアジア内陸黄砂発源地域における地表面変化抽出への新知見, 第57回 大気環境学会年会・酸性雨分科会 2016年09月
- 笹村 尚司, 梅垣和幹, 星野 弘方, 北山あさみ, 杉本 敦子, モンゴル国フスタイ国立公園におけるシラカンバ (*Betula platyphylla*) の立枯れの環境要因について 第63回日本生態学会大会 2016年03月
- Sasamura, T., Hoshino, B., Sugimoto, A. Remote sensing approach for the dieback phenomenon of *Betula platyphylla* Suk. forest in Hustai National Park, Mongolia Hustai National Park Scientific Council

Meeting in 2016, 2016年01月
Fujiyoshi R., Tsujimura M., Lopez C. M. L., Sugimoto A., Spatial variations in larch and soil nitrogen isotope ratio along forest-grassland gradient in northern Mongolia 地球惑星連合大会 2015年05月
北山あさみ、杉本 敦子、米延 仁志、ミジドゥスレン ビヤンバスレン、ラリー ロペス、モンゴルに生育するシベリアカラマツの過去100年間の環境変動に対する応答, 地球惑星連合大会, 2015年05月
Zhang, Q., Lopez C.M.L., et al. Climate reconstruction in northern Mongolia inferred from carbon isotopes in tree-rings. Present Forestry, Agriculture and Husbandry conditions in Mongolia 2014年12月
Kitayama, A., Sugimoto, A., Environmental variability analysis of Mongolian larch forest using tree-ring carbon isotope ratio. Present Forestry, Agriculture and Husbandry conditions in Mongolia 2014年12月
Fujiyoshi, R., Uchino, Y., Tsukuura, A., Tsujimura, M., Lopez C.M.L., Sugimoto, A. Spatial variations in larch and soil $\delta^{15}\text{N}$ reflecting N dynamics along forest-grassland gradient in northern Mongolia. Present Forestry, Agriculture and Husbandry conditions in Mongolia 2014年12月

〔図書〕(計 1 件)

星野 仏方 明石書店 内モンゴルを知るための60章(黄砂と内モンゴルの沙漠化) 2015年 pp.432 (29-34)

〔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:

国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉本 敦子 (SUGIMOTO, Atsuko)

北海道大学・北極域研究センター・教授

研究者番号: 50235892

(2) 研究分担者

米延 仁志 (YONENOBU Hitoshi)

鳴門教育大学・大学院学校教育研究科・教授

研究者番号: 20274277

ロペス ラリー (LOPEZ Larry)

山形大学・農学部・准教授

研究者番号: 20374712

山下 洋平 (YAMASHITA Youhei)

北海道大学・大学院環境科学科・准教授

研究者番号: 50432224

星野 仏方 (HOSHINO Buhou)

酪農学園大学・農学生命科学部・教授

研究者番号: 80438366

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし