

令和 4 年 5 月 19 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06179

研究課題名(和文) 酸素・水素同位体年輪気候学のための、重水パルスラベリングによる樹木生理学的研究

研究課題名(英文) Dendrophysiological study on tree-ring oxygen and hydrogen isotopes using pulse-labeling with heavy water

研究代表者

香川 聡 (Kagawa, Akira)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：40353635

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：樹木は、根から吸った水と、葉から取り込んだCO₂と、光エネルギーを利用して光合成により糖を合成し、木材等のバイオマスが形成されると教科書に書かれている。ところが最近、植物は葉表面に付着した液体の水を葉面吸収により取り込むことが明らかになった。そこで、年輪の同位体比の決定因子として大きな比重を占める早材が形成される梅雨期において、葉面吸収された水が、葉、根、および枝のバイオマス形成にどの程度寄与するかを重水によるパルスラベリング実験により調べた。ラベリング実験の結果、光合成による糖及び糖から形成されるバイオマスには根吸収水だけではなく有意な量の葉面吸収水も利用されていることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、根から吸収した水だけではなく、葉から吸収した水も植物バイオマスの形成に用いられているという知見が得られた。この知見は、例えば苗木や農作物の栽培において灌水方法を最適化することにより(または水分と肥料を混ぜて与える葉面施肥方法を最適化することにより)、植物の成長量を最大化することに役立つ可能性がある。

研究成果の概要(英文)：In biology textbooks, conventional photosynthetic illustrations mention only root uptake water, and it has been assumed that oxygen and hydrogen in cellulose originates from this water. However, recent studies show that plants also absorb liquid water from leaves, and this is called "foliar water uptake". In our study, I pulse-labelled Japanese cedar saplings with heavy water during rainy season, when active earlywood formation happens. Therefore, radial growths during rainy seasons account for a significant contributions to tree-ring oxygen and hydrogen isotope ratios. I studied how foliar-absorbed water is then incorporated into the biomass of needles, roots and branches in the form of oxygen and hydrogen in cellulose etc. The results suggested that not only root-absorbed water, but also significant percentage of foliar-absorbed water is incorporated into biomass, in the form of oxygen and hydrogen in cellulose etc.

研究分野：同位体年輪気候学、樹木生理学、木材解剖学

キーワード：同位体 パルスラベリング 葉面水分吸収 重水 酸素 水素 光合成

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

樹木は、根から吸った水と、葉から取り込んだ CO_2 と、光エネルギーを利用して光合成により糖を合成し、木材等のバイオマスが形成されると教科書に書かれている(図1a)。ところが近年の研究により、植物は葉表面に付着した液体の水を葉面吸収により取り込むことが明らかになった。この現象は葉面水分吸収(Foliar Water Uptake, FWU)と呼ばれている。年輪の酸素・水素同位体比は古気候復元や、木材の年代決定・産地判別に用いられているが、これらを精度よく行う上で、降水が葉面および根からどのように吸収され、それが年輪の酸素・水素同位体比の変化としてどのように現れるかという生理プロセスの理解が必要不可欠である。

人工的に同位体濃縮された二酸化炭素($^{13}\text{CO}_2$ 、 $^{14}\text{CO}_2$)を葉に与え、光合成産物をラベリングする方法により、樹木の炭素アロケーションが長年研究されてきた。一方、重水(H_2^{18}O 、 $\text{DHO} + \text{D}_2\text{O}$)を根から吸水させて光合成産物をラベリングし、樹木の酸素・水素アロケーションを研究することに多くの研究者が挑戦したが、失敗してきた(Helle & Panferov 2004)。その後、二酸化炭素によるラベリング実験と違い、与えた重水の99.9%は蒸散により消失し、有機物として固定される割合は1000分の1程度であるのが失敗の原因であることを申請者は予備試験により見出した。

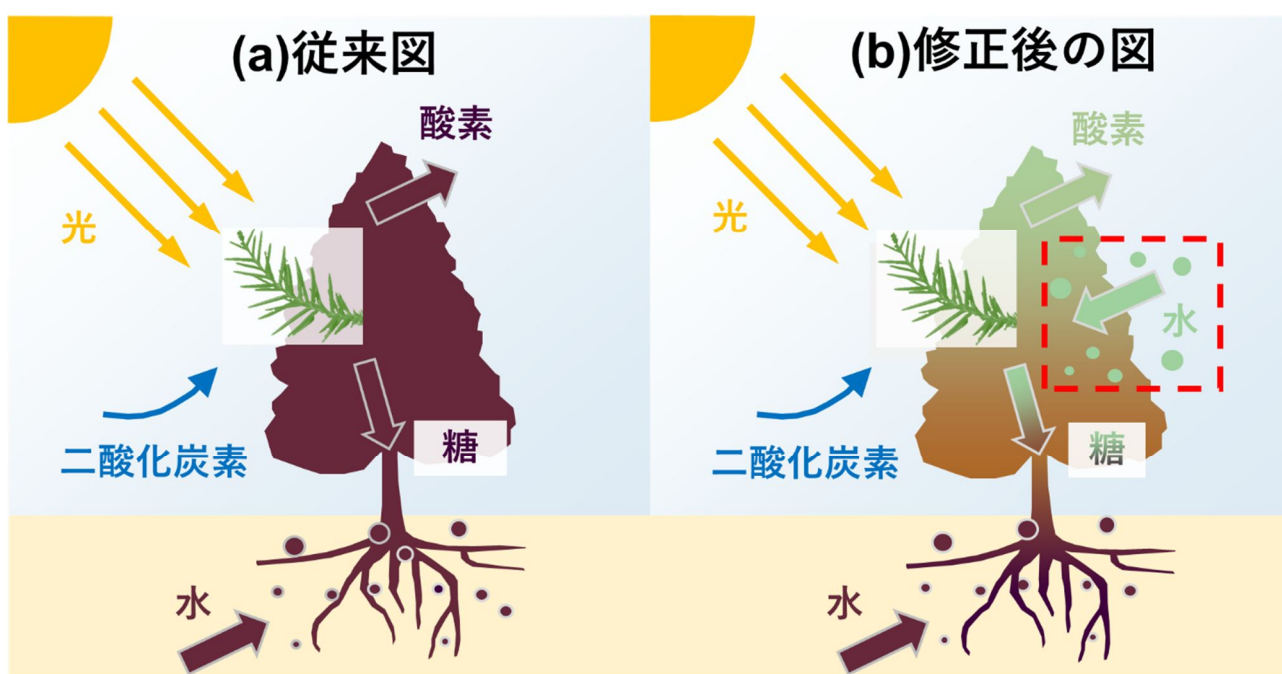


図1 従来の光合成の図(a)と将来予想される修正を加えた光合成の図(b)

スギの木から吸収された水起源の酸素・水素を焦茶色で、葉から吸収された水起源の酸素・水素を黄緑色で示してある。(a)多くの教科書では、植物バイオマスを構成する酸素・水素は根から吸い上げた水が起源であると説明されているが、今回得られた結果は、この見方を否定するものである。(b)降雨中および降雨直後に形成された植物バイオマスに限って言えば、バイオマス中の酸素・水素全体のうち、葉面から吸収された水(赤点線囲部)を起源とするものの割合は、根から吸収された水起源のものと同程度であった。本研究により、前者の割合が決して無視できないことが世界で初めて実験的に証明された。

2. 研究の目的

予備実験として、蒸散される(高価な)重水を還流するチャンバーを作製したところ、樹木の光合成産物を効率よく ^{18}O でラベリングすることに成功した。そこで本研究では、1.樹木がどのように根および葉から水を吸収し、2.その水の酸素・水素がどのように有機物として年輪を含む樹体各部に固定されるかを解明し、年輪気候学研究に役立てることを達成目標とした。

3. 研究の方法

樹体の地上部および地下部にそれぞれ異なる2種類の重水を暴露させるためのチャンバー(図2)を用いて、年輪の同位体比の決定因子として大きな比重を占める早材が形成される梅雨期において、葉面吸収された水が、葉、根、および枝のバイオマス形成にどの程度寄与するかを重水

によるパルスラベリング実験により調べた。

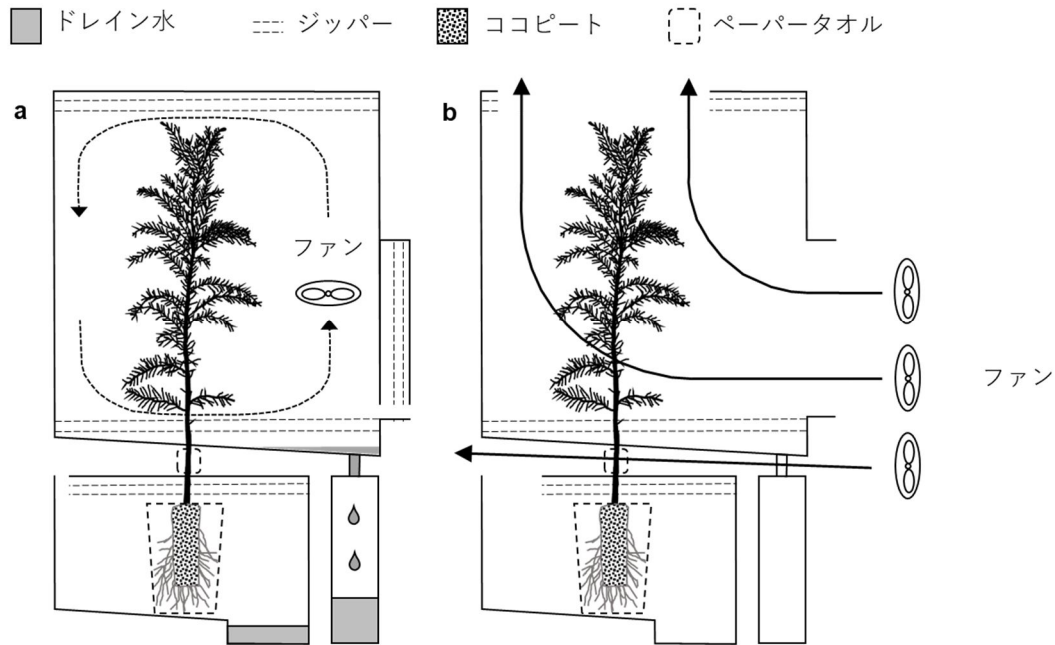


図2 上下にそれぞれ異なる重水を暴露させるために用いたチャンバー。(a) 3日間重水を暴露させ続けた後、(b)チャンバーを開放し、重水が樹体内から抜けるまで放置した。

4. 研究成果

3日間のラベリング直後に採取した葉では、葉内水の約4割が重水に置き換わっており、スギ苗木が梅雨期に葉面吸収する雨水は葉・根のバイオマスにもセルロースの酸素・水素の形で取り込まれていた(表1)。すなわち、光合成による糖及び糖から形成されるバイオマスには根吸収水だけではなく有意量の葉面吸収水も利用されていることがわかった(図1b)。教科書にある光合成の図には、植物が利用する水は根から吸収されたものが全てだとされているが(図1a)、この実験より木材(セルロース)形成に有意量の葉面吸収水が利用されていることが明らかになった。以上の成果は下記のプレプリントおよび査読付き論文としてすでに公開された(Kagawa 2020, Kagawa& Battipaglia 2022, Kagawa 2022)。

表1 樹体各部から抽出したセルロースの酸素・水素の起源

	葉面吸収水起源の水素、酸素 (%)	根吸収水起源の水素、酸素 (%)	葉面吸収水 / 根吸収水の比
葉	72 ± 2	28 ± 4	2.2 ± 0.1
師部 + 表皮 (枝)	73 ± 4	26 ± 5	2.3 ± 0.2
木部 (枝)	57 ± 4	46 ± 3	1.2 ± 0.1
根	19 ± 7	77 ± 7	0.2 ± 0.4

・Kagawa A. (2020) Foliar water uptake as a source of hydrogen and oxygen in plant biomass. BioRxiv, <https://doi.org/10.1101/2020.08.20.260372>

・Kagawa A., Battipaglia G. (2022) Chapter 15: Post-photosynthetic carbon, oxygen and hydrogen isotope signal transfer to tree rings - how timing of cell formations and turnover of stored carbohydrates affect intra-annual isotope variations, In Brooks, J.R. (eds.) "Stable Isotopes in Tree Rings: Inferring Physiological, Climatic and Environmental Responses (Springer Tree Physiology Series, *in press*).

・Kagawa A. (2022) Foliar water uptake as a source of hydrogen and oxygen in plant biomass. Tree Physiology, <https://doi.org/10.1093/treephys/tpac055>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Akira Kagawa	4. 巻 無し
2. 論文標題 Foliar water uptake as a source of hydrogen and oxygen in plant biomass	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 bioRxiv	6. 最初と最後の頁 無し
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1101/2020.08.20.260372	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Akira Kagawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Foliar water uptake as a source of hydrogen and oxygen in plant biomass.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Tree Physiology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/treephys/tpac055	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 2件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 香川聡、内海泰弘
2. 発表標題 樹木の水分吸収についての根も葉もある話 - 二重重水標識法による評価 -
3. 学会等名 日本森林学会 企画シンポジウム S7-3（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 香川聡、内海泰弘
2. 発表標題 木材は葉面から吸収した水でできている？ - 木材バイオマスを構成する酸素・水素の起源としての葉面吸収水 -
3. 学会等名 第72回日本木材学会大会講演要旨集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 香川 聡
2. 発表標題 植物バイオマスを構成する水素・酸素の起源としての葉面水分吸収
3. 学会等名 日本生態学会第69回全国大会講演要旨集（招待講演）
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Kagawa A., Battipaglia G.	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 未定
3. 書名 Stable Isotopes in Tree Rings: Inferring Physiological, Climatic and Environmental Responses (Springer Tree Physiology Series).	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>樹木の水分吸収についての根も葉もある話（日本森林学会での招待講演の動画） https://youtu.be/6hShtelF6r4 年輪の安定同位体比からわかること - 木材は葉面から吸収した水からできている？ - (一般向け講演) http://www.bs.s.u-tokyo.ac.jp/event/583.html</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	内海 泰弘 (Utsumi Yasuhiro) (50346839)	九州大学・農学研究院・准教授 (17102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------