

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 30 日現在

機関番号：82706

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K22463

研究課題名(和文) 博物標本の分子レベル炭素14時計を用いた植物による土壌炭素利用機構の解明

研究課題名(英文) Using compound-specific radiocarbon clock as a tracer of soil carbon in plant archives

研究代表者

石川 尚人(Ishikawa, Naoto)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海洋機能利用部門(生物地球化学センター)・副主任研究員

研究者番号：80609389

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、葉の標本からクロロフィル a を単離・精製し、その放射性炭素濃度(^{14}C)を測定することで、クロロフィル a の材料として土壌炭素がどれくらい重要かを明らかにする。そのために、スイスで採集されたブナ科コナラ属の葉の博物標本を入手した。このうち1952年、1963年、1965年、1966年、1973年、1982年、1995年、2007年の試料を、葉全体の ^{14}C とクロロフィル a (フェオフィチン a として処理)の ^{14}C の分析用に供した。葉全体の ^{14}C 分析は完了し、今後フェオフィチン a の ^{14}C 分析結果をまとめて、論文として発表する予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

植物にクロロフィル a はわずか($\mu\text{g/g}$ オーダー)しか含まれておらず、それらの ^{14}C 分析を行うのは極めて困難である。したがって、高度な実験技術を駆使した信頼性の高い世界初のデータを取得すること自体、現時点では挑戦的かつ先駆的である。葉の博物標本と分子レベルの ^{14}C 分析を組み合わせ、大気 CO_2 以外の炭素起源を特定する、という斬新なアイデアは応募者ら独自のものであり、本研究の萌芽的な成果は、将来のブレイクスルーの下地になることが期待される。

研究成果の概要(英文)：This study aims to quantify relative contributions of atmospheric CO_2 and soil organic matter to the chlorophyll a molecule in terrestrial plants by analyzing radiocarbon concentrations (^{14}C) in leaf and its chlorophyll a recovered from historical archive specimens collected in AD 1952, 1963, 1965, 1966, 1973, 1982, 1995, and 2007 in Switzerland. Preliminary results suggest that the ^{14}C values of leaves follow the rise and fall in those of atmospheric CO_2 via a series of the nuclear bomb tests that was banned in AD 1963. The chlorophyll a has been already isolated from the above eight leaf samples and recovered as the form of pheophytin a, which will be sent to ^{14}C analysis in the near future.

研究分野：同位体生態学

キーワード：クロロフィル 再利用 爆弾炭素 植物標本 タイムマシン

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

大気 CO₂ 濃度の増加は重要かつ喫緊の問題である。近年、大気 CO₂ の主要な吸収源の一つである陸上植物は、地下根圏とも巨大な炭素の交換チャンネルを有しており (図 1 ; Klein *et al.* 2016 *Science*) 土壌から炭素をリサイクルしてクロロフィル *a* を生合成していることが示唆されている (Ischebeck *et al.* 2006 *Journal of Biological Chemistry*)。しかし、定量的な証拠は得られておらず、森林生態系の炭素循環像を描き換えるまでには至っていない。

2. 研究の目的

そこで本研究は、葉の標本からクロロフィル *a* を単離・精製し、その放射性炭素濃度 ($\Delta^{14}\text{C}$) を測定することで、クロロフィル *a* の材料として土壌炭素がどれくらい重要かを明らかにする。ある年における大気 CO₂ の $\Delta^{14}\text{C}$ は、その年に光合成を行った植物の葉の $\Delta^{14}\text{C}$ 値に反映されている。1950~60 年代に頻発した水爆実験は、大気 CO₂ の $\Delta^{14}\text{C}$ を急激に増加させたが、現在は単調減少している (図 2)。一方、土壌の炭素プールは、大気 CO₂ とは $\Delta^{14}\text{C}$ 値が大きく異なる。以上の前提のもとに、1940~2010 年代にスイスで採集された葉の博物標本の $\Delta^{14}\text{C}$ 分析を行うことで、本研究の目的を達成する。

3. 研究の方法

水爆実験が頻発した 1950~60 年代にかけて、大気 CO₂ の $\Delta^{14}\text{C}$ は急激に増加したが、

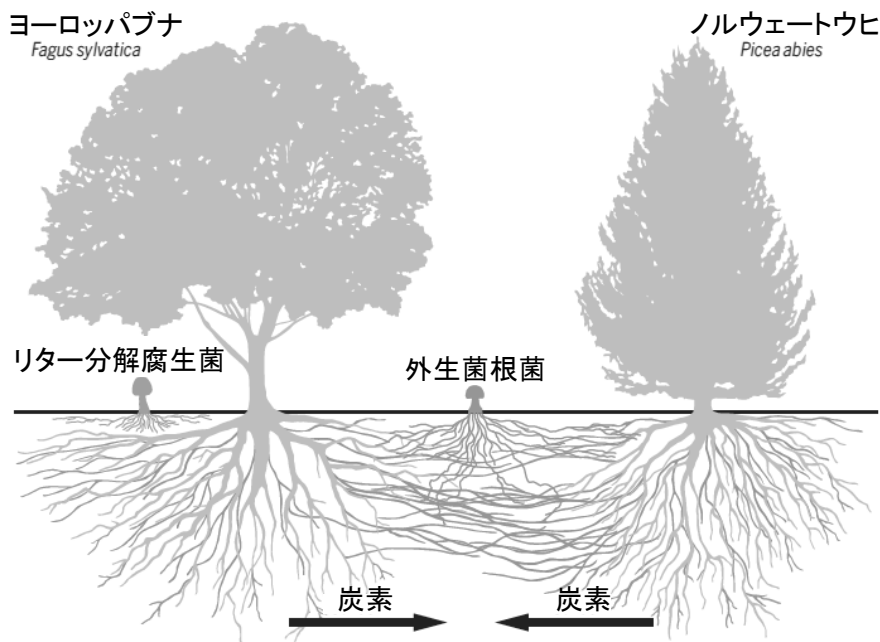


図 1. 地下根圏において、植物が土壌から、どのような炭素を何のために取り込んでいるかは、全く分かっていない。本研究ではクロロフィル *a* がリサイクルされているかどうかを検証する。Klein *et al.* & van der Heijden (2016) *Science* を改変。

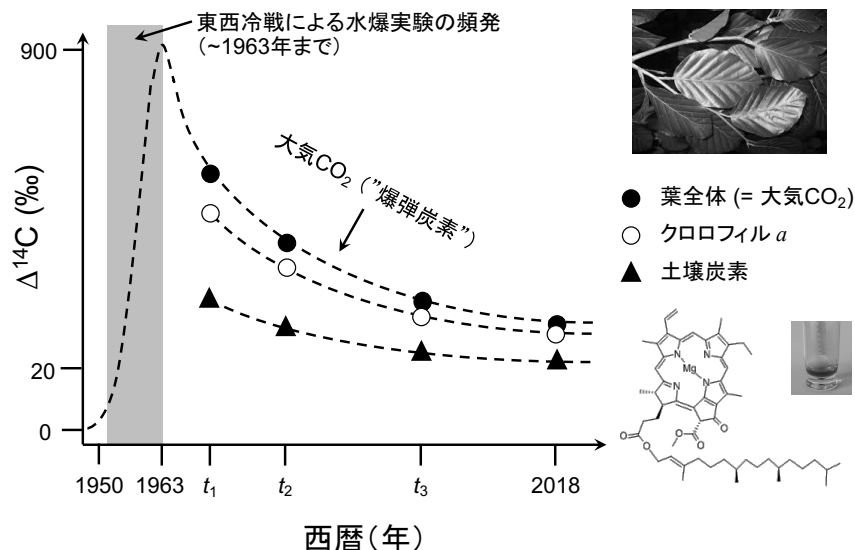


図 2. 本研究の作業仮説。水爆実験由来の ¹⁴C トレーサーという「自然の実験室」で、過去の植物標本という「タイムマシン」を利用する。試料の採集年代にかかわらず、クロロフィル *a* の $\Delta^{14}\text{C}$ 値が、葉全体と土壌炭素の $\Delta^{14}\text{C}$ 値の間になるかどうかを検証する。



1963年の部分的核実験禁止条約の発効以降、単調減少している。各年代の大気 CO_2 の $\Delta^{14}\text{C}$ は、その年に光合成を行った植物の葉の $\Delta^{14}\text{C}$ として保存される。一方、土壌の炭素プールは、滞留時間の違いを反映して、大気 CO_2 とは $\Delta^{14}\text{C}$ 値が大きく異なる。これらの性質を利用し、年代にかかわらず、クロロフィル *a* の $\Delta^{14}\text{C}$ 値が、葉全体と土壌炭素の $\Delta^{14}\text{C}$ 値の間になるかどうかを検証する。

図3. 本研究で使用した葉の博物標本。貴重な学術標本のため、葉の一枚だけを特別に使用する許可を得て、 $\Delta^{14}\text{C}$ 分析を行った。

4. 研究成果

共同研究者の Reto Nyffeler 博士の厚意により、チューリッヒ大学の植物園から、ブナ科ナラ属の *Quercus pubescens* (Downy oak) と *Quercus petraea* (Sessile oak) の葉の博物標本を入手した。このうち 1952 年、1963 年、1965 年、1966 年、1973 年、1982 年、1995 年、2007 年の試料を、葉全体の $\Delta^{14}\text{C}$ とクロロフィル *a* (フェオフィチン *a* として処理) の $\Delta^{14}\text{C}$ の分析用に供した (図3)。葉全体の $\Delta^{14}\text{C}$ 分析の結果、1960 年代に $\Delta^{14}\text{C}$ 値のピークが存在することが明らかになった。これは (1) ^{14}C が米ソ冷戦時代の 1950~60 年代に、大気核実験を通じて大気中で大量に作られたこと；(2) 1963 年によりややく大気核実験が禁止される頃には、大気中の二酸化炭素 (CO_2) に含まれる ^{14}C 濃度は、自然状態のおよそ 2 倍まで増えていたこと；(3) その後、植物や海による吸収などを通じて、大気 CO_2 の ^{14}C 濃度は減り続けていること、などと極めて総合的である。そこで、前述した年代の異なる合計 8 試料からフェオフィチン *a* を単離・精製した。最終年度までに植物によるクロロフィル *a* のリサイクル割合を明らかにすることはできなかったが、今後、フェオフィチン *a* の $\Delta^{14}\text{C}$ 分析結果をまとめて、論文として発表する予定である (図4)。

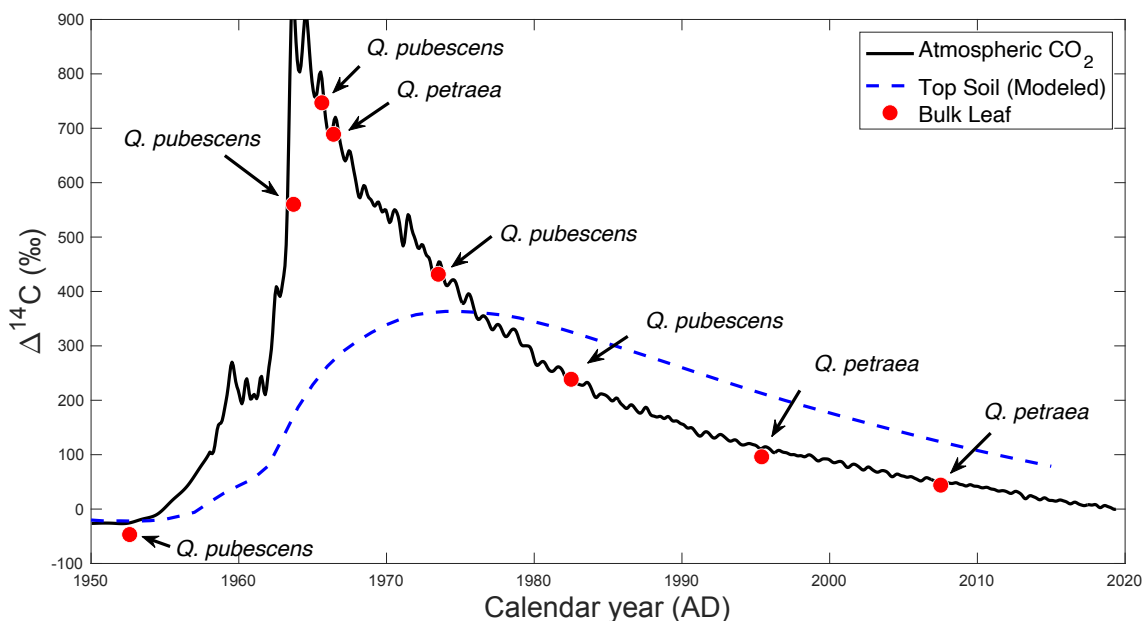


図4. 本研究で分析した年代の異なる 8 試料における葉全体の $\Delta^{14}\text{C}$ 。今後、それぞれの試料から単離・精製したフェオフィチン *a* の $\Delta^{14}\text{C}$ 分析結果が加わる予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ishikawa Naoto F., Ogawa Nanako O., Chikaraishi Yoshito, Yamaguchi Moto-omi, Fujikura Katsunori, Miyairi Yosuke, Yokoyama Yusuke, Nagata Toshi, Ohkouchi Naohiko	4. 巻 8
2. 論文標題 Influences of Ocean Currents on the Diets of Demersal Fish Communities in the Western North Pacific Revealed by Their Muscle Carbon and Nitrogen Isotopic Compositions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Marine Science	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) 10.3389/fmars.2021.641282	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 -
1. 著者名 Ishikawa Naoto F., Finlay Jacques C., Uno Hiromi, Ogawa Nanako O., Ohkouchi Naohiko, Tayasu Ichiro, Power Mary E.	4. 巻 65
2. 論文標題 Combined use of radiocarbon and stable carbon isotopes for the source mixing model in a stream food web	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Limnology and Oceanography	6. 最初と最後の頁 2688 ~ 2696
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/lno.11541	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Ishikawa Naoto F., Butman David, Raymond Peter A.	4. 巻 135
2. 論文標題 Radiocarbon age of different photoreactive fractions of freshwater dissolved organic matter	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Organic Geochemistry	6. 最初と最後の頁 11 ~ 15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.orggeochem.2019.06.006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Haghipour N., Ausin B., Usman M. O., Ishikawa N., Wacker L., Welte C., Ueda K., Eglinton T. I.	4. 巻 91
2. 論文標題 Compound-Specific Radiocarbon Analysis by Elemental Analyzer?Accelerator Mass Spectrometry: Precision and Limitations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Analytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 2042 ~ 2049
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.analchem.8b04491	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計1件

1. 著者名 陀安一郎、申基澈、藤吉麗編	4. 発行年 2020年
2. 出版社 総合地球環境学研究所	5. 総ページ数 104
3. 書名 同位体環境学がえがく世界：2020 年版	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	菅 寿美 (Suga Hisami) (80392942)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・海洋機能利用部門(生物地球化学プログラム)・技術主任 (82706)	

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
---------	---------