

街路樹の炭素安定同位体比から COVID19 による産業活動停滞の影響検出を試みる

半場 祐子

(京都工芸繊維大学 応用生物学系)

1. 日本の大気汚染の現状

日本の都市部で、大気汚染物質である窒素酸化物の問題が最も顕著だったのは1985年前後でした。1990年代なかば以降は、日本の大気中の窒素酸化物の量は着実に減少しています。2019年には京都市において、二酸化窒素の大気中の濃度は、ピーク時の1/3近くまで減少している地点もあります。一方、2000年代以降は、アジア地域で中国やインドなどの著しい経済成長に伴って大気汚染が劇的に悪化し、越境汚染として周辺の国々にも大きな影響を及ぼすようになりました。大気汚染の問題は、アジア地域における最も重要な環境問題の一つとなっています。

都市における窒素酸化物の主な排出源は、自動車です。年間の窒素酸化物の排出量は、乗用車などと比べると、大型車（いわゆるトラック）が圧倒的に大きくなっています。日本の都市部で大気中の二酸化窒素量が着実に減少してきた背景には、排気ガス浄化装置の搭載など、トラックの環境性能が大幅に向上したことがあります。

しかし、交通量が非常に多い幹線道路沿いなどでは、依然として二酸化窒素のレベルは高く、交通量が少ない郊外との間には大きな差があります。京都市の二酸化窒素のレベルが高い地点では、2019年時点でも1年の半分以上の日数で環境基準の濃度（0.02 ppmとした場合）を超えています。大気汚染は、日本においても過去の問題とはいえないのです。

2. 炭素安定同位体比から街路樹の大気汚染ストレスを診断する

都市に植栽されている街路樹は、樹冠で大気汚染物質を吸収・捕捉したり、木陰をつくって高温化を抑えたり、光合成で二酸化炭素を吸収するなどの多くの効用を持っています。光合成は街路樹の生長や生存を支える生理的な働きであるため、光合成活性を維持することは、都市部で樹木が生存していくためには必須です。しかし、光合成に必要な二酸化炭素を取り込む「気孔」は、大気汚染ストレスを感じるといち早く閉じてしまい、その結果、光合成が低下してしまいます。

植物の葉に含まれる光合成産物の炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{plant}}$) は、植物の光合成活動による同位体比の変化 ($\Delta^{13}\text{C}$) と、大気中の同位体比 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{air}}$) によって決まります。 $\Delta^{13}\text{C}$ は、平均的な気孔の開度を反映します (図1)。気孔があまり開いていないと、軽い方の同位体 (^{12}C) が植物に取り込まれにくくなるためです。ストレスを感じると、多くの場合、気孔は閉じていきます。このような

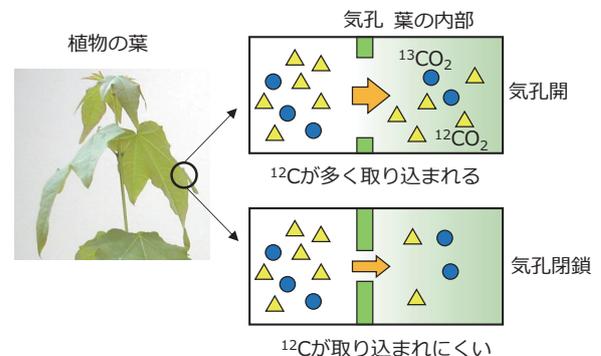


図1. 葉の内部への炭素安定同位体 ^{12}C の取り込まれ方は、気孔が開いているときと閉じているときで異なる。木本植物の生理生態 (2020) を改変。

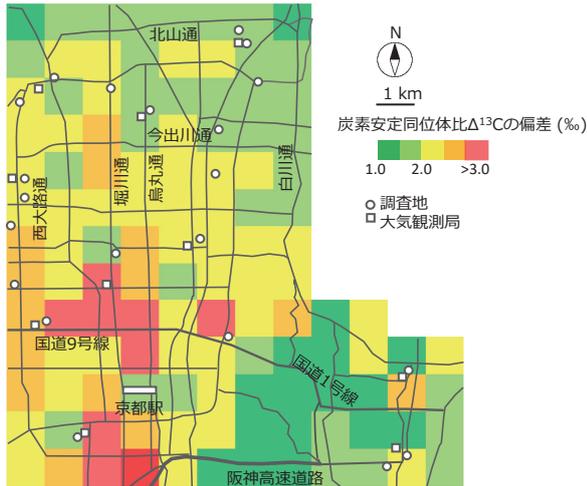


図2. 常緑低木であるヒラドツツジの葉の $\Delta^{13}\text{C}$ の偏差を京都市内でマッピング。 $\Delta^{13}\text{C}$ の偏差が大きいほど強いストレスがかかっている。

ことから、 $\Delta^{13}\text{C}$ の値から、植物が受けている大気汚染ストレスを診断できます。

3. 京都市内における交通量の違いと街路樹の大気汚染ストレス： $\Delta^{13}\text{C}$ の空間的变化

わたしたちは $\Delta^{13}\text{C}$ を使って、京都市内の場所による交通量の違いが、街路樹の大気汚染ストレスとどのように関係しているのかを調査しました。その結果、街路樹であるヒラドツツジは、交通量が多い、つまり二酸化窒素量が多い場所にあるほど、気孔が閉じていました。このことから、大気中の二酸化窒素が、ヒラドツツジの光合成機能に悪影響を及ぼしていることが分かりました(図2)。なお、ヒラドツツジは常緑の低木で、京都府だけで約90万本が植栽されており、街路樹の低木の中では40%以上を占め、日本国内でも最も多く利用されている樹木種です。

4. 街路樹の炭素安定同位体比からCOVID19による産業活動停滞の影響を検出する： $\Delta^{13}\text{C}$ の時間的变化

大気汚染の大きな要因になっているのは、トラックから排出される窒素酸化物です。そして、トラックの通行台数は、経済産業活動を強く反映しており、好景気のときには増加し、不景気のときには

減少します。首都高速道路では、トラックの通行台数の変化が、景気の変化に3ヶ月先行して生じる、という研究結果も出されています。

2020年から始まった新型コロナウイルス感染症(COVID19)の流行は、世界的な経済産業活動の低下を引き起こし、日本も例外ではありませんでした。この経済産業活動の低下により、トラックなどの車両の通行台数が減り、大気中の二酸化窒素量も減ったと考えられます。その結果として、大気汚染物質の影響を受けやすいヒラドツツジなどの街路樹では、光合成機能低下が緩和された可能性があります。

わたしたちは2005年から2021年にかけて断続的に、京都市を中心とした都市域で街路樹の葉を採取して $\Delta^{13}\text{C}$ 解析を行っています。葉の $\Delta^{13}\text{C}$ の経年変化を追跡することで、街路樹の光合成機能に、COVID19による経済産業活動の低下がどのように影響したのかを検出できる可能性があります。

次のようにして調査を行いました。

- 1) 交通量が異なり、大気中の窒素酸化物の濃度が異なると予想される調査地を2005年~2020年に京都市内を中心として選定しました。
- 2) 街路樹であるヒラドツツジとイチヨウの葉を採取して $\Delta^{13}\text{C}$ を測定し、調査地点の二酸化窒素濃度との関係を調べました。 $\Delta^{13}\text{C}$ を計算するために、実測した大気中の二酸化炭素の炭素安定同位体比をもちいて補正をしました。窒素酸化物の濃度は、国立環境研究所から提供されているデータベースの値を引用しました。

5. ヒラドツツジは2020年・2021年に大気汚染ストレスが緩和されている可能性がある

まず京都市の2005年~2021年の二酸化窒素濃度を解析したところ、特に交通量が多い大気汚染物質観測局で、リーマンショックが起こった2009年に大幅な落ち込みが見られ、さらに2020年と2021年にも落ち込みがみられました(図3)。さらに、緊急事態宣言や蔓延防止などの措置がとられている期間に、特に二酸化窒素濃度の落ち込

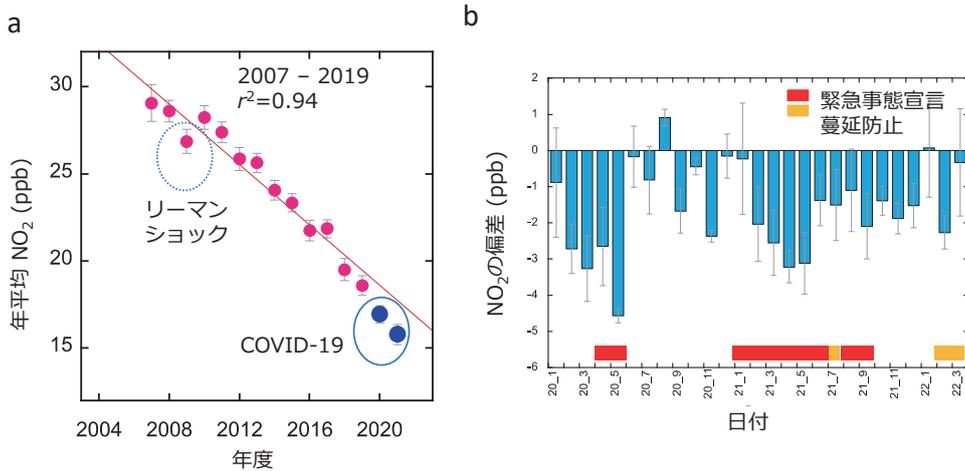


図 3. (a) 京都市内で最も二酸化窒素濃度が高い 3 つの観測局における、2007 年から 2021 年までの二酸化窒素濃度平均値の年変化。2007-2019 年のデータの回帰直線を図中に示す。(b) 2007-2019 年のデータを直線回帰したときに予測される 2020 年、2021 年の値と、実際の観測地との偏差。NO₂ データ：http://www.nies.go.jp/igreen/td_down.html

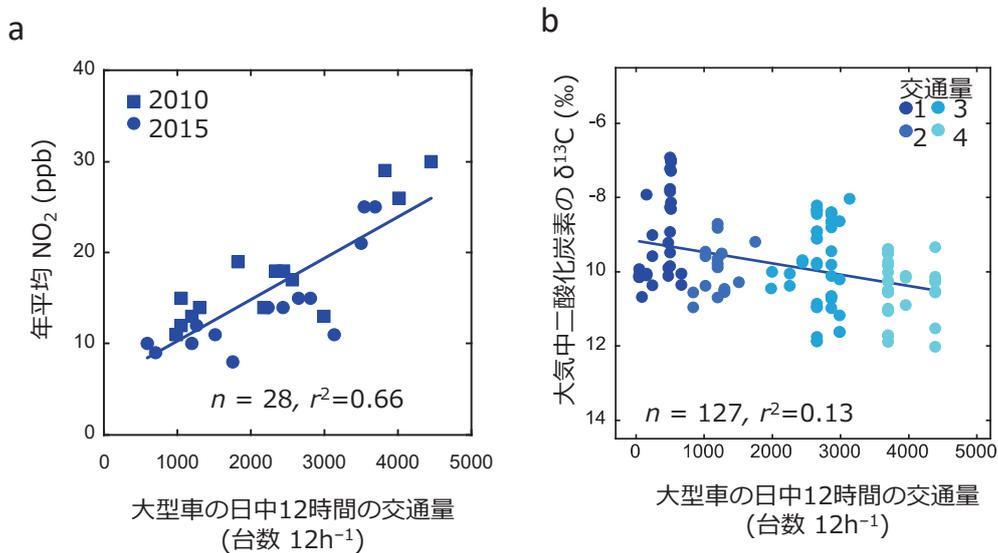


図 4. (a) 京都市内の 14 の観測局における二酸化窒素濃度の平均値と、その観測局付近の大型車の日中 12 時間交通量との関係。2010 年と 2015 年のデータを示す。(b) 大気中の二酸化炭素の炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) と大型車の日中 12 時間交通量との関係。2010 年・2015 年の日中大型車交通量のクラスター分析により調査地を 4 分類：1 (4,900 台/12h)、2 (14,100 台/12h)、3 (23,700 台/12h)、4 (38,600 台/12h)。NO₂ データ：http://www.nies.go.jp/igreen/td_down.html
交通量データ：平成 22 年度・平成 27 年度交通センサス

みが大きいことも示唆されました。2020 年と 2021 年に、COVID19 による影響が二酸化窒素濃度の減少となって現れている可能性があります。ただし、2020 年と 2021 年の二酸化窒素濃度の減少幅は、2009 年のときよりは緩やかでした。

トラックの交通量と二酸化窒素濃度との関係を分析したところ、トラック交通量が多いほど二酸化窒素濃度が高くなりました (図 4)。葉の $\delta^{13}\text{C}$

と二酸化窒素濃度との関係を見てみると (図 5)、イチョウでは二酸化窒素濃度に対して $\delta^{13}\text{C}$ がほとんど変化していませんが、ヒラドツツジでは二酸化窒素濃度が高いほど $\delta^{13}\text{C}$ は高くなりました。ヒラドツツジでは、二酸化窒素濃度が高いほど強いストレスがかかっていることを示しています。

2005 年～2019 年の $\delta^{13}\text{C}$ データを、COVID19 の影響があった 2020 年または 2021 年のデータと

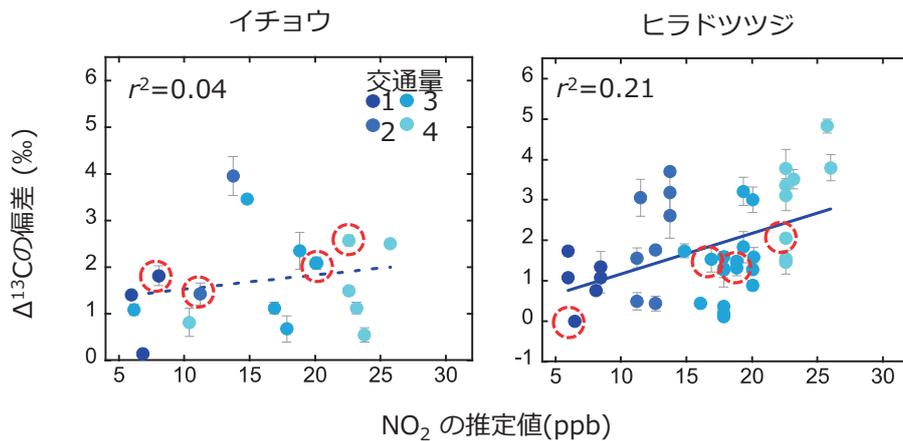


図 5. 京都市内における街路樹 2 種、イチヨウとヒラドツツジの葉における炭素安定同位体比 $\Delta^{13}\text{C}$ の偏差と、交通量から推定された NO_2 濃度との関係。赤い囲みは 2020 年と 2021 年のデータ。2010 年・2015 年の日中大型車交通量のクラスター分析により調査地を 4 分類：1 (4,900 台 /12h)、2 (14,100 台 /12h)、3 (23,700 台 /12h)、4 (38,600 台 /12h)。

NO_2 データ： http://www.nies.go.jp/igreen/td_down.html

交通量データ：平成 22 年度・平成 27 年度交通センサス

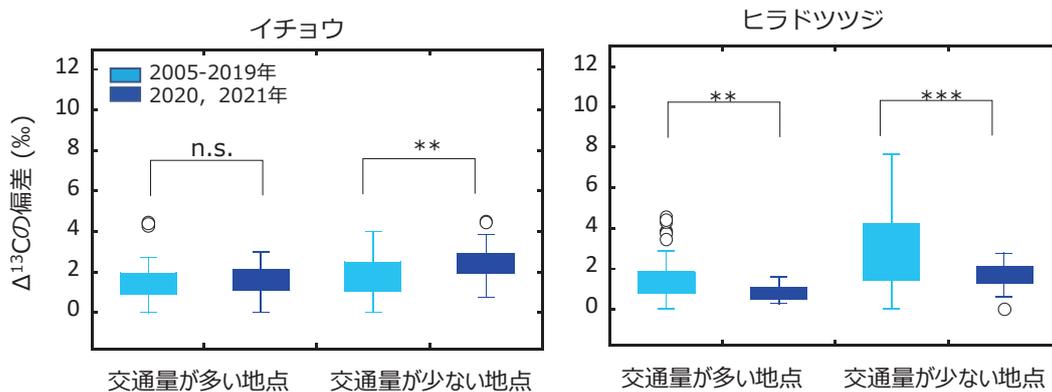


図 6. 京都市内における街路樹 2 種、イチヨウとヒラドツツジの葉における炭素安定同位体比 $\Delta^{13}\text{C}$ の偏差について、2005-2019 年までのデータを 2020 年または 2021 年のデータと比較。

比較してみました (図 6)。イチヨウでは 2020 年に $\Delta^{13}\text{C}$ は増加しましたが¹⁾、ヒラドツツジでは逆に、2021 年に $\Delta^{13}\text{C}$ は減少しました。このことから、ヒラドツツジでは、COVID19 の影響があった年に、大気汚染によるストレスが緩和されている可能性が示唆されます。

6. まとめ — 街路樹ストレス診断ツールとしての炭素安定同位体 —

大気中の二酸化窒素濃度が、リーマンショックが起こった 2009 年と、COVID19 の影響下にあった 2020 年・2021 年に減少していることは、この時期の産業経済活動の停滞を反映している可能性

があります。さらに 2021 年に、ヒラドツツジで $\Delta^{13}\text{C}$ が減少したことは、二酸化窒素濃度が低くなったことにより、ストレスの影響が緩和したとも考えられます。

ただし、今回の研究では、二酸化窒素濃度について、年度とともに単調減少すると仮定して 2020 年・2021 年の二酸化窒素濃度を予測し、その予測値と実測値のずれを検出する、という簡単なモデルを用いています。COVID19 の影響を確実に検出するためには、より精密なモデルが必要である点に注意が必要です。

注釈

- 1) イチヨウで2020年に $\Delta^{13}\text{C}$ が増加した理由は不明ですが、二酸化窒素濃度以外の要因によるものと考えられます。

文献

ニッセイアセスメント株式会社 コラム 吉野貴晶の「景気や株価の意外な法則」
<https://www.nam.co.jp/market/column/hosoku/2017/170824.html>

国立環境研究所データベース・大気環境月間値・年間値データ

http://www.nies.go.jp/igreen/td_down.html

飯塚 康雄, 舟久保 敏 (2018) わが国の街路樹 VIII 国土技術政策総合研究所資料 国土交通省国土技術政策総合研究所

<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1050pdf/ks105002.pdf>

Mayu Matsumoto, Takashi Kiyomizu, Saya Yamagishi, Tomomitsu Kinoshita, Luisa Kumpitsch, Atsushi Kume, Yuko T. Hanba

(2022) Responses of photosynthesis and long-term water use efficiency to ambient air pollution in urban roadside trees. *Urban Ecosystems* 25, 1029–1042. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-713702/v1>

半場祐子 (2020) 「安定同位体から見た森林樹木」 In: 木本植物の生理生態 (小池孝良・北尾光俊・市栄智明・渡辺 誠 編)、共立出版、pp.123–138

著者情報



半場祐子 京都工芸繊維大学 応用生物学系 植物分子工学研究室教授。博士(理学)。専門は植物生理生態学。1996年に京都大学理学研究科で学位取得後、岡山大学資源植物科学研究所を経て、2004年より京都工芸繊維大学フィールド科学教育研究センターに勤務。2012年4月より現職。

(2021年3月31日掲載)

(2023年3月31日改題・改版)