都市の大気汚染と街路樹
― 炭素安定同位体によるストレス診断 ―

半　場　祐　子
（京都工芸繊維大学　応用生物学系）

1. 日本と世界の大気汚染

大気汚染が日本で深刻化したのは、今から 60 年ほど前の 1960 年代、高度経済成長期のときでした。工場や事業所からの大気汚染物質が数々の公害をもたらし、「産業公害型」の大気汚染として大きな問題になりました。その対策が進む一方、1970 年代になると、主に都市部において、自動車などから排出される窒素酸化物の問題が「都市・生活型」の大気汚染として顕在化しました。

「都市・生活型」の大気汚染は、「産業公害型」と違って誰もが原因者になりうることもあって慢性化し、なかなか改善が進みませんでした。2004 年から 2019 年までの京都市の二酸化窒素の量は着実に減少しているように見えますが（図 1）、二酸化窒素のレベルが高い地点では、2019 年にも 1 年の半分以上の日数で環境基準の濃度（0.02 ppm）を超えてしまっています。大気汚染は、日本においても決して過去の問題ではないのです。

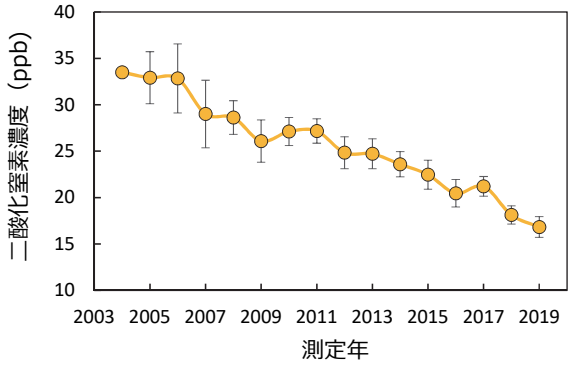


図 1.　京都市の 3 つの大気汚染観測局（自排大宮･自排山科･自排南）で測定された二酸化窒素濃度。エラーバーは標準誤差を示す。データ：国立環境研究所 http://www.nies.go.jp/igreen/td_down.html

一方、2000 年代に入って、中国やインドなどの著しい経済成長に伴って、これらの国々の大気汚染は劇的に悪化し、周辺の国々にも大きな影響を及ぼすようになりました。このようなことから、大気汚染の問題は、世界的に重要な環境問題の一つとなっています。

2. 街路樹の役割と光合成診断技術の必要性

都市に植栽されている街路樹などの樹木は、大気汚染物質を吸収したり捕捉したりすることで、都市の大気を浄化する働きをします。さらに、木陰をつくることで高温化を抑制したり、二酸化炭素を吸収したりするなどの多くの効用を持っています（図 2）。光合成は街路樹の生長や生存の鍵とな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、その樹木の環境適性に直結します。しかし、日本の国内外を問わず、街路樹の樹種を選ぶときには樹形や花の美しさ、管理のしやすさが優先され、光合成活性の維持はほとんど考慮されてきませんでした。

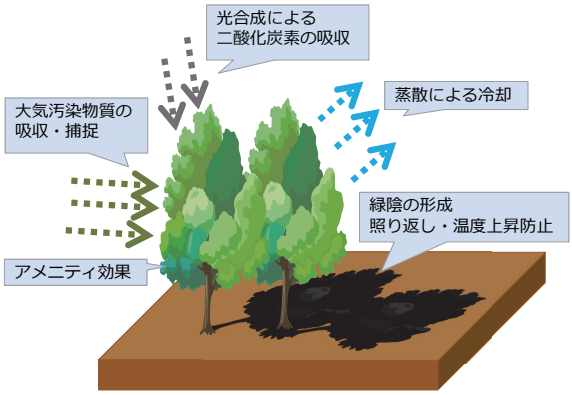


図 2.　街路樹の様々な効用。引用：木本植物の生理生態（2020）

光合成活性は様々なストレスに対して大変敏感です。特に光合成に必要な二酸化炭素を取り込む「気孔」は、ストレスを感じるといち早く閉じてしまい、その結果、光合成が妨げられてしまいます。街路樹の光合成機能を維持していくためには、気孔がどれくらいしっかりと開いているかを診断する技術が必要です。このような技術があれば、各樹種のストレス対応を診断し適切な樹種・品種を選ぶことができると同時に、樹木が植栽されている現場においてはストレスの兆候を早い段階で捉えることができるようになります。

大気汚染ストレスは、街路樹がさらされているストレスの中でも、特に顕著なものです。街路樹の健全度を診断するためには、大気汚染ストレスを診断することが不可欠となります。

3. 炭素安定同位体比による大気汚染ストレス診断

葉に含まれる光合成産物の炭素安定同位体比は、平均的な気孔の開度を反映することが分かっています（図 3）。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、炭素安定同位体比が変化するからです。ストレスを感じると、多くの場合、気孔は閉じていきます。このようなことから、炭素安定同位体比は、自然界の植物のストレス判定に広く用いられています。

私たちは、街路樹が受けている大気汚染ストレスを診断するため、2004 年から 2019 年にかけて調査を行いました。調査対象の樹木としては、「ヒラドツツジ」を選びました。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。

調査は次のようにして行いました。

1）交通量が異なり、大気中の窒素酸化物（特に二酸化窒素）の濃度が異なると予想される調査地を京都市内で 21 か所選定しました。
2）ヒラドツツジの葉の炭素安定同位体比を測定し、二酸化窒素濃度との関係を定式化しました（図 4）。
3）京都市内でのヒラドツツジの炭素安定同位体比をマッピングしました（図 5）。

3. 京都市の中心部でヒラドツツジは強い大気汚染ストレスを受けている

京都市内では、大気中の二酸化窒素濃度が高いほど、ヒラドツツジの葉には ^{12}C が少なくなりました（図 4）。二酸化窒素濃度が高い調査地の方が、ヒラドツツジの気孔が閉じていることを示しています。高い二酸化窒素濃度が、ヒラドツツジにとってストレスとなっていることが分かります。

京都市内でヒラドツツジが受けている大気汚染ストレスのマップを見ると、京都駅近くで特に強いストレスがかかっていると思われる地点があり

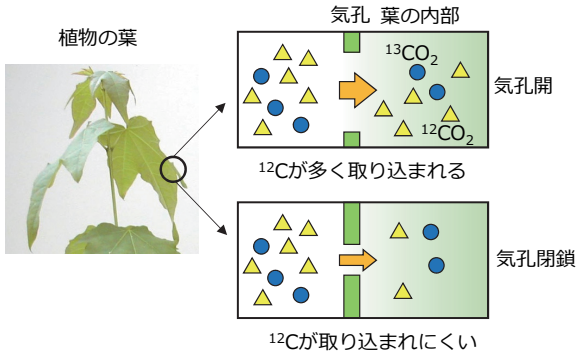


図 3. 葉の内部への炭素安定同位体 ^{12}C の取り込まれ方は、気孔が開いているときと閉じているときで異なる。木本植物の生理生態（2020）を改変。

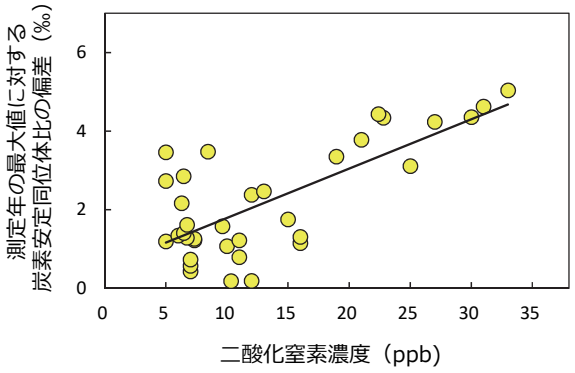


図 4. 常緑低木であるヒラドツツジの葉の炭素安定同位体比の偏差と、大気中の二酸化窒素濃度との関係。炭素安定同位体比の偏差が大きいほど ^{12}C が少ないことを示す。

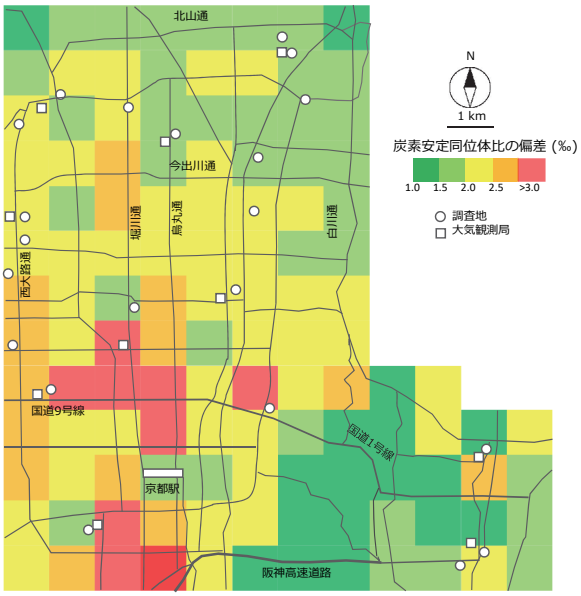


図 5. 常緑低木であるヒラドツツジの葉の炭素安定同位体比の偏差を京都市内でマッピング。炭素安定同位体比の偏差が大きいほど強いストレスがかかっている。

ます（図 5）。国道 1 号線や国道 9 号線沿いなどの、交通量が非常に多いところです。これに比べると、交通量が少ない北山通沿いなど北部地域や、山科のあたりは、ヒラドツツジが受けている大気汚染ストレスは比較的穏やかであるといえそうです。なお、図 5 の地図に示した区域内では、交通量は最も少ない地点と最も多い地点で 35 倍の違いがあります。

4. まとめ ― 街路樹の選び方とストレス診断ツールとしての炭素安定同位体 ―

ヒラドツツジは低木で管理が容易であること、病気や虫害に強いこと、花が美しいことなどから、日本国内では 2017 年時点で 6200 万本以上が植栽されており（わが国の街路樹Ⅷ）、街路樹として抜群の人気を誇っています。しかし、光合成機能の維持という観点から見ると、大気汚染濃度が高い場所には必ずしも適していないように思われます。植え替えの時期が来たら、別の樹種に変更することを検討してもよいかもしれません。

私たちは現在、様々な街路樹を比較して、どのような樹種が大気汚染や乾燥などの都市で顕著なストレスに強いかどうかを調査しています。この調査を通じて、街路樹としてどのような樹種が適正なのかを提案していきたいと考えています。炭素の安定同位体は、これらの調査でも強力な診断ツールとなってくれそうです。

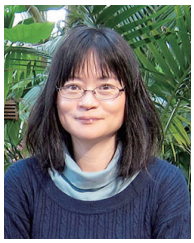
文献

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

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）