

令和 3 年 5 月 11 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11664

研究課題名(和文) 森林の窒素飽和を評価するための樹木生理生態学的指標の探索

研究課題名(英文) Exploring a tree ecophysiological index to evaluate nitrogen saturation in forest ecosystems

研究代表者

渡辺 誠 (Watanabe, Makoto)

東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50612256

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、里山の代表的な樹種であるコナラを対象として、土壌の窒素利用性と葉の形質の関係を調査し、樹木生理生態学の視点から森林の窒素飽和の指標を提供することを目的とする。土壌の窒素利用性が異なる6地点に生育するコナラから葉を採取し、その形質を調べた。その結果、土壌の窒素利用性の高い調査サイトにおいて、一次代謝産物と二次代謝産物の濃度は低い傾向を示した。以上より、葉の成分はコナラ林の窒素飽和の進行度合いを推測する指標として利用できると考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

窒素飽和は森林の健全性を損ねる重要な環境問題の一つであるが、その評価は森林生態系への窒素のインプットとアウトプットを長期間モニタリングすることによって評価されてきた。本研究によってコナラの葉における一次代謝産物や二次代謝産物が、土壌の窒素利用性の違いを反映することが明らかになった。それによって、森林の窒素飽和の進行状況をより簡便に評価できる指標を入手できたと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the present study is to determine the index for nitrogen saturation in the forest ecosystem from the viewpoint of tree physiological ecology. The plant material was konara oak, which is representative species in Satoyama-forest in Japan. I collected leaves from the crown of mature konara oak and analyze the traits. Concentrations of primary metabolite and secondary metabolite were decreased with increasing soil nitrogen availability. These results suggest that the leaf traits can be used as an index to estimate progress of nitrogen saturation in konara oak forest.

研究分野：樹木生理生態学

キーワード：窒素飽和 指標 被食防衛 樹木生理生態学 大気汚染 コナラ 成木

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。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 20世紀初頭にハーバー・ボッシュ法による大気窒素の工業的固定が発明されてから、地球上の生物が利用できる窒素の循環量が大幅に増加している。森林において限られた栄養素であった窒素が大量に供給されたため、一部の森林では供給された窒素を光合成生産などに使い切れず、生態系の外に流出させてしまう窒素飽和が起こっている。森林の窒素飽和の程度は、窒素沈着量(インプット)と渓流水による窒素流出(アウトプット)を長期間モニタリングすることで評価される。しかしこの方法には多大な労力が必要であり、より簡便な評価方法が期待されている。

(2) 従来、森林の樹木による光合成生産は利用可能な窒素の量によって制限されてきた。そのため樹木は限られた窒素を効率的に利用するように進化してきた。例えば、明るい(光合成しやすい)環境にある樹冠上部の葉には、樹冠下部の葉よりも多くの窒素が分配され、個体全体の光合成生産を向上させている。この利用可能な窒素の量が増え過ぎて、光合成生産がそれ以上増加しなくなる現象が窒素飽和であるならば、森林における光合成生産の主役である樹木の光合成における窒素利用特性は精度の良い窒素飽和の指標となり得ると考えた。さらに、土壌の肥沃度(特に利用可能な窒素の量)と植食者に対する防御能力(被食防衛能力)には密接な関係があり、富栄養な環境では被食防衛物質が減少することが知られている。このような葉の防御に関連する物質の含量も森林の窒素飽和の指標として有用である可能性がある。

### 2. 研究の目的

本研究では日本の温帯域の代表的な落葉広葉樹であり、里山林の主要構成樹種でもあるコナラを対象として、光合成や被食防衛に関わる葉の特性と土壌の窒素利用性の関係を明らかにし、樹木生理生態学の視点から窒素飽和の指標を提供することを目的とする。

### 3. 研究の方法

(1) 調査サイトは東京農工大学農学部附属フィールドミュージアム(FM)多摩丘陵(東京都八王子市)府中(東京都府中市)草木(群馬県みどり市)津久井(神奈川県相模原市)秩父(埼玉県秩父市)の唐沢山(栃木県佐野市)の6地点で、それぞれの調査サイトで生育していたコナラ成木を対象とした。

(2) 2018年7-8月に、FM多摩丘陵とFM秩父において、その年に伸張したコナラのシュート(枝と葉)を樹冠内の異なる5高度から採取した。採取したシュートの成長、葉の光合成酵素であるRubiscoと光合成色素であるクロロフィルの濃度、そして被食防衛能力として総フェノールと縮合タンニンの濃度を測定した。また、土壌環境として鉍質土壌の無機態窒素、リンおよびカリウム濃度などを測定した。

(3) 2019年7月には、すべての調査サイトにおいてコナラの葉の成分調査を行った。前年と同様の試料採取を行い、前年の測定項目に加えて葉の糖、デンプンおよびタンパク質などの一次代謝物質の濃度、細胞壁量および葉硬などの物理的特性も測定した。2020年6月から8月にかけて、全6調査サイトの鉍質土壌の窒素無機化速度を測定した。また、FM多摩丘陵とFM秩父に関しては、2020年もそれまでと同様のコナラの葉形質の測定を行った。

### 4. 研究成果

(1) 土壌中の無機態窒素濃度と窒素無機化速度の結果より、本研究ではFM多摩丘陵、津久井および府中を富栄養な環境、FM秩父および唐沢山を貧栄養な環境と判断した(図1)。FM草木は、無機態窒素濃度は高かったが、窒素無機化速度が低かったため貧栄養な環境と判断した。

(2) 2018年に実施したFM多摩丘陵とFM秩父の調査より、葉におけるRubisco、総フェノールおよび縮合型タンニンの濃度は樹冠上部で高く、樹冠下部にかけて減少した。一方、クロロフィル濃度は逆の傾向を示した。貧栄養であるFMに秩父のコナラにおいて総フェノールと縮合タンニンの濃度がFM多摩丘陵よりも有意に高かったが、Rubiscoやクロロフィルの濃度は調査地点間であまり変わらなかった。このことから、葉の被食防衛に関わる葉形質の方が、光合成に関わる葉形質よりも、土壌の窒素利用性の影響を受けると判断し、次年度からは被食防衛に関わる特性に注目することとした。

(3) 2019年に実施した全サイトのコナラ成木調査において、一次代謝物質である非構造炭水化物(可溶性糖とデンプンの合計値)および化学的防御物質であるフェノール化合物の濃度は樹冠上部で高く、樹冠下部にかけて減少した(図2)。一方、一次代謝物質であるタンパク質濃度およ

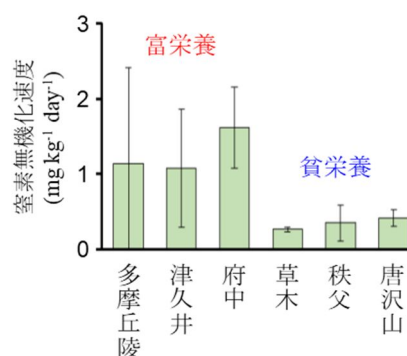


図1 各調査サイトにおける土壌の窒素無機化速度。

び物理的防御の一つである細胞壁量は樹冠上部で低く、樹冠下部にかけて増加した。樹冠内のこれらの物質の分布(樹冠上部から下部にかけての変化程度)に調査サイト間の違いは認められなかった。葉形質に関して調査サイト間の比較を行ったところ、非構造炭水化物およびタンパク質の濃度と、化学的防御物質である総フェノール濃度は、貧栄養な土壤環境のコナラよりも富栄養な土壤環境のコナラの方が低かった(図2)。これは、富栄養な環境では防御よりも成長や代謝が優先されるため、それらに非構造炭水化物やタンパク質が消費されるとともに、フェノール化合物を合成するための炭水化物が減少するためであると考えられる。

(4) 植食者による葉の食害率は、貧栄養な環境よりも富栄養な環境のコナラの方が高かった。これは富栄養な環境において、植食者はより多くの葉を摂食して栄養を吸収する必要があること、そして葉の防御能力が低く摂食されやすいことから、植食者による摂食が促進されて食害率が高くなったと考えられる。

(5) 富栄養環境である FM 多摩丘陵と貧栄養環境である FM 秩父市に関しては、2018 年から 3 年間の調査を行ったが、両サイトとも食害に対する被食防衛能力として働く被食防衛物質である総フェノール濃度や縮合タンニンの濃度に年次変化はほとんど認められず、いずれの年においても、FM 秩父の方がそれらの濃度は高かったなかつた。加えて、葉の食害率にも有意な年次変化は認められず、富栄養な環境である FM 多摩丘陵の方が高かった。

(6) 本研究の結果、土壤の窒素利用性の高い調査サイトにおいて、一次代謝産物と二次代謝産物の濃度は低く、葉の食害率は増加した。この結果は、葉の特性が土壤の窒素利用性を反映していることを示している。したがって、葉の成分分析によってコナラ林の窒素飽和の進行度合いを推測できる可能性があると考えられる。

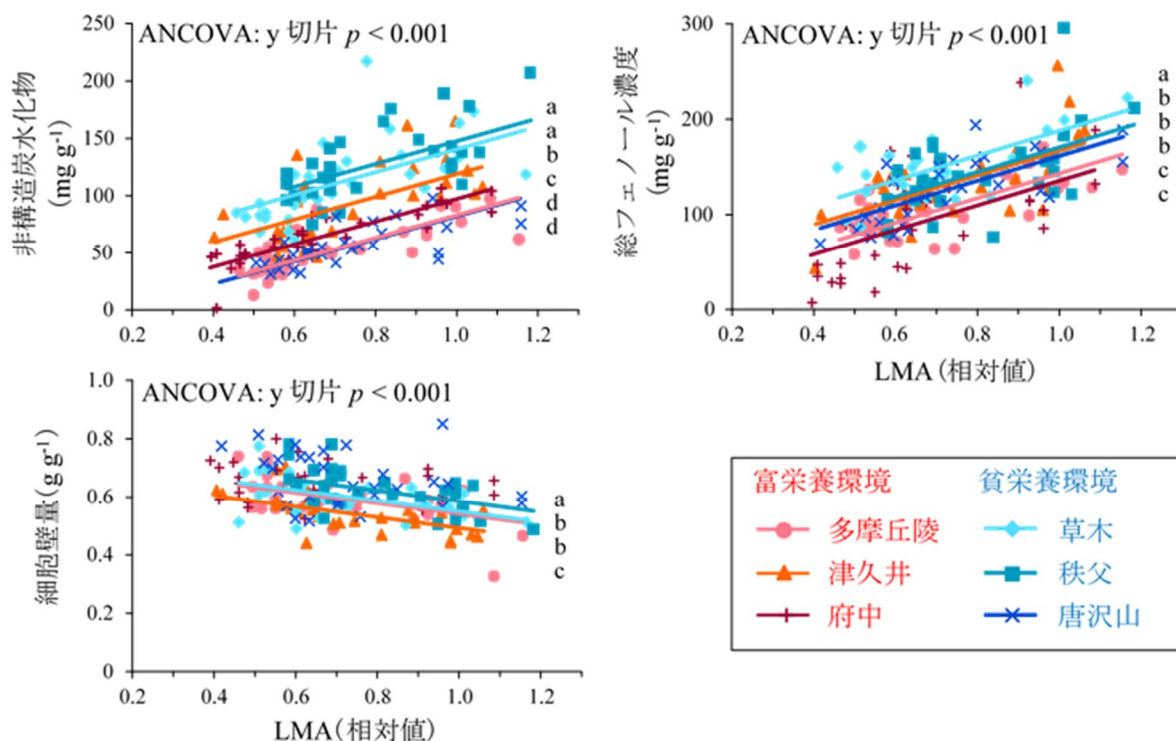


図2 コナラの葉における非構造炭水化物濃度、総フェノール濃度および細胞壁量と LMA の相対値との関係(n = 30)。LMA の相対値は各調査地点において、各対象木における樹冠最上部の LMA の平均値を 1 として算出しており、値が大きいほど樹冠上部であることを表している。図中の異なるアルファベットは調査地点間で回帰直線の y 切片に有意差があることを表している。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Benhui ZHU、IZUTA Takeshi、WATANABE Makoto	4. 巻 76
2. 論文標題 Nitrogen use efficiency of <I>Quercus serrata</I> seedlings under different soil nitrogen and phosphorus supplies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Agricultural Meteorology	6. 最初と最後の頁 11～18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2480/agrmet.D-19-00032	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 Watanabe Makoto、Hiroshima Hiroka、Kinose Yoshiyuki、Okabe Shigeaki、Izuta Takeshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Nitrogen Use Efficiency for Growth of Fagus crenata Seedlings Under Elevated Ozone and Different Soil Nutrient Conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Forests	6. 最初と最後の頁 371～371
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/f11040371	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 Watanabe Makoto、Hoshika Yasutomo、Inada Naoki、Koike Takayoshi	4. 巻 636
2. 論文標題 Photosynthetic activity in relation to a gradient of leaf nitrogen content within a canopy of Siebold's beech and Japanese oak saplings under elevated ozone	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Science of The Total Environment	6. 最初と最後の頁 1455～1462
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.scitotenv.2018.04.423	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 Kinose Yoshiyuki、Fukamachi Yoshinobu、Okabe Shigeaki、Hiroshima Hiroka、Watanabe Makoto、Izuta Takeshi	4. 巻 716
2. 論文標題 Toward an impact assessment of ozone on plant carbon fixation using a process-based plant growth model: A case study of Fagus crenata grown under different soil nutrient levels	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science of The Total Environment	6. 最初と最後の頁 137008～137008
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.scitotenv.2020.137008	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 -

1. 著者名 Hoshika Yasutomo, Haworth Matthew, Watanabe Makoto, Koike Takayoshi	4. 巻 170
2. 論文標題 Interactive effect of leaf age and ozone on mesophyll conductance in Siebold's beech	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physiologia Plantarum	6. 最初と最後の頁 172 ~ 186
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/pp1.13121	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9件(うち招待講演 0件/うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Watanabe, M., Norisada, M. and Izuta, T.
2. 発表標題 Gradients of photosynthetic traits and defense capacity within a canopy of mature oak trees grown under different nutrient conditions
3. 学会等名 IUFRO Nanning 2019: Harmonized growth, cleaner environment and sustainable forests (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 則定優成, 伊豆田 猛, 渡辺 誠
2. 発表標題 土壌環境の異なるコナラ成木の樹冠内における光合成能力、成長および被食防衛能力の鉛直分布
3. 学会等名 第60回大気環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 朱 本揮, 伊豆田 猛, 渡辺 誠
2. 発表標題 異なる土壌窒素およびリン環境で育成したコナラ苗の養分利用効率
3. 学会等名 第60回大気環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡辺 誠, 則定 優成, 黄瀬佳之, 山口高志, 中山理智, 福島 慶太郎, 舘野 隆之輔, 永野博彦, 小嵐 淳, 堅田元喜
2. 発表標題 林縁と林内の窒素沈着量の違いが森林の生産性と光合成窒素利用特性に与える影響
3. 学会等名 第60回大気環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堅田元喜, 福島慶太郎, 小嵐 淳, 山口高志, 渡辺 誠, 永野博彦, 中山理智, 舘野 隆之輔, 黄瀬佳之
2. 発表標題 森林炭素・窒素循環研究：学術分野を超えた連携は必要か？
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 則定優成, 伊豆田 猛, 渡辺 誠
2. 発表標題 生育環境の異なるコナラ成木の葉の特性と虫害の樹冠内における鉛直分布
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 ZHU Benhui, IZUTA Takeshi, WATANABE Makoto
2. 発表標題 Nitrogen use efficiency of Quercus serrata seedlings under different soil nitrogen and phosphorus supplies
3. 学会等名 International Symposium on Agricultural Meteorology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 則定優成, 伊豆田 猛, 渡辺 誠
2. 発表標題 生育環境の異なるコナラ成木の樹冠内における葉の特性と虫害の関係
3. 学会等名 第61回大気環境学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Fukushima, K., Iwasaki, K., Sakai, M., Oda, Y., Onishi, Y., Koba, K., Katata, G., Yamaguchi, T., Kubota, T., Nagano, H., Watanabe, M., Koarashi, J.
2. 発表標題 Nitrate contamination of mountainous headwater streams from adjacent agricultural and pasture lands beyond the watershed boundary in eastern Hokkaido, Japan
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 小池 孝良、北尾 光俊、市栄 智明、渡辺 誠	4. 発行年 2020年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 264
3. 書名 木本植物の生理生態	

〔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

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