

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450198

研究課題名(和文) ストイキオメトリーを用いた森林生態系の窒素飽和の評価

研究課題名(英文) Evaluating nitrogen saturation in forested ecosystems based on stoichiometry

研究代表者

智和 正明 (Masaaki, Chiwa)

九州大学・農学研究院・准教授

研究者番号：30380554

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：近年、大気汚染によって生じる大気由来の窒素負荷が樹木の栄養状態に悪影響を与えるのではないかと懸念されている。本研究は、日本の主要樹種であるスギ・ヒノキ人工林の栄養状態を診断し、窒素負荷がスギ・ヒノキの栄養状態に与える悪影響を評価した。その結果、窒素負荷の増大はスギ・ヒノキの窒素吸収量を増加させ、リンなどの他の栄養成分の要求量を増加させていたが、リン不足にはなっていなかった。これは、樹木がリンの吸収効率を上昇させているためと推察された。

研究成果の概要(英文)：Elevated atmospheric nitrogen (N) deposition and its ecological impact is an issue of widespread concern. This study evaluated the effects of elevated N deposition on the nutrient status of Japanese cedar and Japanese cypress based on stoichiometry. Results showed that elevated atmospheric N deposition increased N uptake by these plantation and subsequently enhanced phosphorus (P) demand. However, these plantations did not exhibit P deficiency. Higher P uptake was achieved by enhancing P uptake efficiency, which did not result in P limitation within the plantation.

研究分野：生物地球化学

キーワード：窒素飽和 リン制限 ストイキオメトリー 蛇紋岩

1. 研究開始当初の背景

近年、窒素酸化物の排出は地球レベルで顕著に増加している。特に、アジアは欧米と比べて窒素排出量が急速に増加しており、東アジアから国内への大気汚染物質の長距離輸送が顕在化している。

この増加は森林生態系へ悪影響を及ぼす可能性がある。本来、窒素は基岩には存在せず、森林生態系の窒素源は大気中の窒素化合物のみであり、窒素が樹木成長の制限要因となっていると考えられてきた。しかし、近年、窒素化合物が過剰に供給され、森林生態系内に蓄積すると、循環過程のバランスが崩壊し、最終的に森林衰退を引き起こすほどの悪影響を及ぼしうることが指摘されている(窒素飽和)。

このため、森林流域の窒素循環に関する研究の重要性が認識されており、国内外で窒素収支の計測が行われてきた(欧米:数百サイト;国内:数十サイト)。その結果、国内では、窒素沈着が多い都市・都市近郊林を中心に渓流水中の硝酸塩濃度が高く、窒素飽和していると判断されている。しかし、森林生態系における窒素飽和はこのような高濃度の硝酸塩から間接的に判断されており、状況証拠に留まっているのが現状である。

窒素飽和の結果、リンなどの他の元素の栄養制限を引き起こされると提唱されている。しかし、そのような高濃度の硝酸塩が流出する森林流域において、リンによる樹木成長の栄養制限については、一部の研究事例を除き、国内外ともに不明確である。そのため、森林における窒素制限からリン制限への移行の可能性を調べることは、窒素飽和を直接的に評価することができるとともに、森林からの硝酸塩流出に対する適切な措置を講じる上でも重要である。

植物の栄養制限の診断には、主に、1) 施肥実験、2) 酵素活性測定、3) 植物体内におけるストイキオメトリー(化学量論)がある。このうち、植物体内におけるストイキオメトリー計測は、複雑な実験を必要とせずに調査地における統合的な指標が短期間で得られるため、幅広く用いられている。例えば、湿地帯では、植物体内の窒素/リン比が14を下回ると窒素制限、16を上回るとリン制限と判断できることが分かっている。しかし、森林域では窒素制限やリン制限の判断は植物種や樹齢などの環境条件で変化する可能性がある。

蛇紋岩はリン含有量が少なく、窒素沈着の増加によってリン制限になりやすい。このため、窒素沈着量が多く、かつ母材が蛇紋岩地質である森林流域は、窒素飽和やそれに伴うリン制限が起りやすい対照サイトとして位置づけることで、他サイトとの比較が可能となり、リン制限の判断を行うことができる可能性がある。さらに、ヒノキ・スギ人工林は日本全国で植林されており、樹齢などを揃えることができるので、サイト間比較を行う

のに適切な樹種である。

2. 研究の目的

渓流水中の硝酸塩が高濃度を示す森林流域において、樹木が窒素飽和に伴ってリン制限が起きているかを樹木葉のストイキオメトリーの計測によって明らかにすることである。

3. 研究の方法

窒素飽和と間接的に判断される森林流域(渓流水中硝酸塩の高濃度)においてリン制限が起きているかを判断するため、調査地の優占樹種であるヒノキ葉中のストイキオメトリー(窒素:リン含有比、以下N:P比)を解析した。調査地は、1) 福岡演習林・御手洗水(リン制限が起りやすい蛇紋岩流域)、2) 宮崎演習林・大藪(窒素制限と考えられる流域)、3) 福岡演習林・新建(硝酸塩濃度が高い流域)である(表1)。

Table 1 Site description of Japanese cypress stands

Site	Ochozu (P limit)	Shintani (? limit)	Oyabu (N limit)
Lithology bedrock	Serpentinite	Amphibolite	Black phyllite
Tree age (yr)	57	55	58
DBH (cm)	25.4	28.4	33.9
Bulk N deposition (kg N ha ⁻¹ yr ⁻¹)	10.5	10.5	8.2
Stream NO ₃ - conc. (μmol l ⁻¹)	63	129	7

実験(1) 窒素沈着量が比較的多く(16 kg N/ha/yr)、可給態リンの少ない岩石(蛇紋岩)の流域(福岡演習林・御手洗水)内において27プロットのサンプリングを行い、ヒノキのN、P濃度、N:P比およびそれらの空間分布を解析し、リン制限に関わるヒノキの成長量や地形などとの関連について統計解析した。

実験(2) 実験(1)を元にサイト間比較のための条件を揃えた上で、福岡演習林・新建のヒノキ葉を採取し、葉中N:P比について御手洗水と大藪とを比較することで新建流域においてリン制限が起きているかを判断した。さらに、各サイトでリターや土壌を採取し、窒素、リン含有量を分析し、栄養分の吸収量や吸収効率を解析した。

4. 研究成果

(1) 葉中のリン濃度は流域全体で低く(0.66 ± 0.16 mg/g)、窒素濃度は高く(13.0 ± 1.5 mg/g)、N:P比は高かった(21 ± 5)。さらに、ヒノキの成長はNリター量よりもPリター量で説明できた。これらの結果は本研究サイトでヒノキのリン制限を示すものであった。しかし、27地点中7地点でリン制限と提唱されているN:P比が16に近いがそれ以下であった。葉中リン濃度は窒素よりも森林流域内における凹凸度の空間分布に対応しており、N:P比も凹凸度と相関が見られた。これらの

結果はN:P比が地形の空間分布の影響を受けることを示していた。これは、増加した窒素沈着によって窒素の空間分布は小さくなることによって引き起こされると考えられた。以上のことから、窒素沈着によって引き起こされるリン制限の診断には地形の空間分布を考慮する必要があることが分かった。

(2) 福岡演習林・新建のヒノキ葉中窒素：リン比について御手洗水と大藪とサイト間比較を行った。サイトは地形による変動を考慮した上で選定した。その結果、福岡演習林・新谷のN:P比は御手洗水と比べると有意に低く、宮崎演習林・大藪と比べて同程度だった(図1)。このことから、渓流水中のNO₃⁻濃度が高い福岡演習林のヒノキ林は必ずしもリン制限には至っていないと判断された。さらにリター計測から推定された窒素とリンの樹木による吸収量は福岡演習林新谷で高かった(図2)。これは福岡演習林で窒素沈着量が多いために窒素吸収量が増加し、そのために他の栄養分であるリンの要求量も増加したためであると考えられた。土壌中の栄養分プール量と樹木による吸収量から求めた窒素とリンの吸収効率(表2)の結果から、リン吸収量の増加はリンの吸収効率を高めることで達成されていたこ

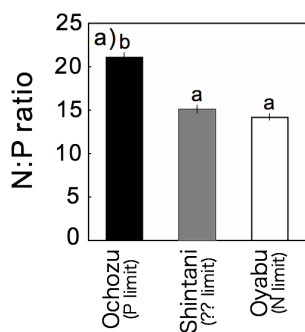


Fig 1. Leaf N:P ratio of Japanese cypress at each site.

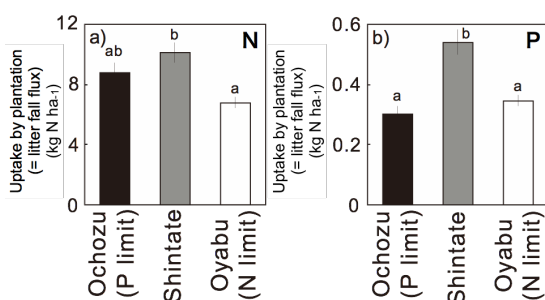


Fig 2. Litter fall flux of a) N and b) P at each site.

Table 2. Nutrient uptake efficiency* at each site

	N	P
Ochozu (P limit)	2.4	0.026
Shintani (? limit)	1.2	0.028
Oyabu (N limit)	1.3	0.010

*uptake efficiency = $\frac{\text{Nutrient Uptake (= litter fall)}}{\text{Soil nutrient content}}$

とが分かった。以上のことから、大気窒素沈

着量が増加すると樹木はリンの利用効率を高めるといった反応を示していることが分かった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3 件)

Chiwa M., Sheppard L. J., Leith I. D., Leeson S. R., Tang Y. S., Cape J. N. (2016) *Sphagnum* can 'filter' N deposition, but effects on the plant and pore water depend on the N form. *Science of the Total Environment* 559, 113-120.

Chiwa M., Ikezaki S., Katayama A., Enoki T. (2016) Topographic influence on plant nitrogen and phosphorus stoichiometry in a temperate forested watershed. *Water, Air, and Soil Pollution* 227, 6.

Chiwa M., Saito T., Haga H., Kato H., Otsuki K., Onda Y. (2015) A nitrogen-saturated plantation of Japanese cedar and Japanese cypress in Japan is a large non-point nitrogen source. *Journal of Environmental Quality* 44, 1225-1232.

〔学会発表〕(計 3 件)

智和正明, 池崎翔子, 片山歩美, 檀木 勉 (2016) 森林流域内における地形の違いがヒノキ葉の窒素・リンのストイキオメトリに与える影響. 日本地球惑星科学連合. 千葉

智和正明, 松田敏英, 中谷暢丈, 小林 剛, 久米 篤, 佐久川 弘 (2016) 樹冠による窒素吸収がアカマツ苗木の二酸化炭素同化速度とバイオマス配分に与える影響. 日本森林学会. 藤沢

智和正明, 東直子, 大槻恭一, 兒玉宏樹, 宮島徹, 竹田一彦, 佐久川弘 (2015) 窒素飽和した森林から流出する渓流水から光化学的に生成するヒドロキシルラジカルの発生源の定量評価. 日本地球化学会年会. 横浜

〔図書〕(計 1 件)

智和正明 (2015) 大気と水のつながり 国境をまたぐ汚染と流域圏管理, 40-52, 保全生態学の挑戦 (編: 宮下 直, 西廣 淳), 東京大学出版会, 東京 (分担執筆).

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称:
 発明者:
 権利者:
 種類:
 番号:
 出願年月日:
 国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

智和 正明 (CHIWA Masaaki)
九州大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号：30380554

(2) 研究分担者

久米 篤 (KUME Atsushi)
九州大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号：20325492

(3) 連携研究者

榎木 勉 (ENOKI Tsutomu)
九州大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号：10305188

(4) 研究協力者

()