

鹿北流域試験地のヒノキ林における可給態養分の季節変化<sup>\*1</sup>稲垣昌宏<sup>\*2</sup>・釣田竜也<sup>\*2</sup>

稲垣昌宏・釣田竜也：鹿北流域試験地のヒノキ林における可給態養分の季節変化 九州森林研究 68：87－90，2015 鹿北試験地のヒノキ林の表層土壌においてイオン交換膜法を用いて可給態養分を通年測定し，季節変化を調べた。測定項目はNO<sub>3</sub>，NH<sub>4</sub>，K，Mg，Caである。無機態窒素ではNO<sub>3</sub>-Nが80-99%を占め，9月をピークに11月ごろまで吸着量が多い傾向が見られた。NO<sub>3</sub>吸着量の季節変化はおよそ気温の変化と対応していたが，5－7月の吸着量が少なかった。塩基ではCaの吸着量が最も多く，気温の変化と対応していたが，Mgは気温との関係が明らかでなかった。Kは塩基の中ではいずれの期間ももっとも吸着量が少なく，通年の変化が少なく夏期が最小であった。NO<sub>3</sub>はCaと有意な相関があったが5－7月の測定値は相関からやや外れていた。本試験地土壌ではNO<sub>3</sub>が生成する際に，主にCaが対イオンとして溶出されたと考えられた。5－7月についてはヒノキの成長期であるため窒素吸収が盛んに行われ，他の陰イオンが塩基類の対イオンになっていたと考えられた。

キーワード：硝酸態窒素，アンモニア態窒素，塩基類，イオン交換膜，植物吸収

## I. はじめに

森林の成長は得られる資源量によって規定される (Binkley *et al.*, 2004)。植物にとって水と養分といった土壌由来の資源は光や温度と比べると立地内で偏在しているため獲得に制限を受けやすく，立地条件の違いは森林の成長に大きな影響を及ぼす。

日本の人工林の可給態養分と成長との関係は，窒素を中心に調べられてきた (Tokuchi *et al.*, 1999; Hirobe *et al.*, 2001; 小柳ほか, 2004, 2007; 平井ほか, 2007; 館野ほか, 2010; Fukushima *et al.*, 2011; 稲垣ほか, 2012)。日本の気候は欧米と異なり植物成長期の梅雨時期から秋に降水量が多い温帯モンスーン気候であり，可給態養分の季節変化は気温と降水量の分布に影響を受ける。そのため，可給態養分を精度よく測定するには比較的短期間で区切られた通年測定が必要であるが，精緻な測定は手順が煩雑で得られるデータに限りがあるという問題があった。

過去の研究例では，実験室内での土壌培養法 (Tokuchi *et al.*, 1999; 小柳ほか, 2004)，あるいはフィールドでの土壌埋設法 (小柳ほか, 2007; 館野ほか, 2010; Fukushima *et al.*, 2011) やイオン交換樹脂法 (Hirobe *et al.*, 2001; 平井ほか, 2007; Fukushima *et al.*, 2011; 稲垣ほか, 2012) 等を用いて現地の無機イオン移動量が測定されてきた。実験室内での培養法は，気象条件の変化等フィールド上のさまざまな要素が考慮されないという問題があった。また，フィールド測定法においては測定後の処理が煩雑なため反復数に制限があること，得られた測定値の分散が大きいことなどの問題があった。また，吸引などによる土壌水の測定 (浦川ほか, 2005; 釣田ほか, 2012) は，測定頻度を高くすることができるものの，測定機材の設置が大掛かりなものになり地点数が限られること，得られた溶液は植物吸収後の土壌深部の水質を形成する元の組成を示しており，得られたデータは可給態養分とは若干異なる位置づけを持つという問題があった。

近年海外で開発されたイオン交換膜法 (Qian *et al.*, 1992) は，イオン交換樹脂法の欠点を補う方法として注目されている。イオン交換膜はイオン交換樹脂と比較して埋設が容易であり，埋設した土壌から取り出し後の洗浄も容易であるという特徴がある。さらに，交換膜によって吸着されたイオン量は，土壌水よりも植物の根系に存在するイオン量に近い値を反映すると考えられている (Qian *et al.*, 2008)。

過去の人工林下の可給態養分測定事例は火山灰影響下の土壌 (小柳ほか, 2004, 2007; 平井ほか, 2007; 館野ほか, 2010; 稲垣ほか, 2012) および堆積岩下の土壌 (Tokuchi *et al.*, 1999; Hirobe *et al.*, 2001; Fukushima *et al.*, 2011) の報告が多く，変成岩土壌下の情報は本試験地の報告 (釣田ほか, 2012) 以外ではほとんどない。また，窒素以外の塩基類などや窒素と他の元素との関係について調査した研究例は，土壌水採取以外の方法では発表された情報が少ないのが現状である (小柳ほか, 2007)。風化初期段階の火山灰影響下の土壌に対し，変成岩土壌は比較的生成年代が古く，風化が進んでいる (農林省林業試験場, 1968)。土壌中の養分全体量が少ない条件下での植物が利用できる可給態養分の状態を明らかにすることは，スギ葉枯れ現象のような人工林の成長阻害要因の観点からも重要である (今矢・重永, 2008)。

本研究はイオン交換膜法を用いて，変成岩母材の人工林の可給態養分の季節的变化を調べることを目的とした。

## II. 研究方法

試験は，熊本県北部の熊本森林管理署長生国有林内にある鹿北流域試験地で行った。地質は結晶片岩で，褐色森林土が分布している。アメダス鹿北観測地点の年降水量は2159.1mmであり，5－8月の降水量が1300mmを超える。2号流域，3号流域の斜面上部の樹齢30－50年生のヒノキ人工林内にそれぞれ20×20m

<sup>\*1</sup> Inagaki, M. and Tsurita, T.: Seasonal changes in available nutrients in a Hinoki cypress forest at the Kahoku research station.

<sup>\*2</sup> 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. Center, For. & Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860-0862.

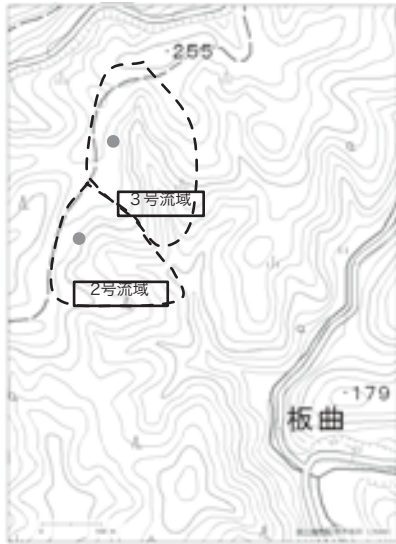


図-1. 試験地の位置  
丸はプロットを表す。国土地理院電子地図を改変。

の試験区を設定した(図-1)。

2013年2月から2014年1月にかけて、イオン交換膜法(Qian *et al.*, 2008; 稲垣, 2014)を用いて可給態養分の測定を通年で行った。試験区内の4地点に陰陽それぞれのイオン交換膜を斜面方向と対角になるよう土壌表層から鉛直に2枚ずつ設置し、1ヶ月半から2ヶ月程度で連続的に6回測定を行いほぼ通年にわたる測定を行った(表-1)。設置状況の詳細は稲垣(2014)に従った。イオン交換膜は、0.5N炭酸水素ナトリウム溶液を用いて反応基を弱酸弱塩基に置換した後、ポジフィルム用スライドマウントを取り付けて行った。土壌との接触面積は15.6cm<sup>2</sup>となる。試験期間中の降水量はアメダスデータでは2052mmであり、通年と大きな違いはなかった。

現地でも回収の際に純水で表面に付着した土壌を洗浄した。さらに、実験室内でさらに純水で洗浄した上で、0.5N塩酸20mlで

表-1. イオン交換膜測定期間

回数	1	2	3	4	5	6
設置日	13/2/13	4/10	5/28	7/23	10/1	11/26
回収日	13/4/10	5/28	7/23	10/1	11/26	14/1/9
設置日数	56	48	56	70	56	44

1時間の震とう抽出を行った。溶液は適宜希釈後に、硝酸態窒素については220nmの紫外吸光法(島津UV-2500PC)、アンモニア態窒素、カリウム、カルシウム、マグネシウムイオンについてはイオンクロマトグラフ法(サーモフィッシャーダイオネクスICS-1600)で行った。吸着量は単位接触表面積および一日あたりの量(cm<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>)で比較した。

### Ⅲ. 結果

イオン交換膜による無機態窒素の吸着量は、硝酸態窒素が80-99%と優占し、期間の積算値では97%を占めた(図-2)。また、2つの試験区間で吸着量の違いが認められなかったことから、以後の解析は全体平均(1測定回当たり、最大n=16)で行った。

硝酸態窒素吸着量の季節変化は、冬の低温期に500nmol cm<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>以下と小さく、夏の高温期に2000nmol cm<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>を超えるなど大きい傾向があった(図-3)。3回目の回収(2013/5/28-7/23)は測定期間中のアメダス鹿北観測地点の平均気温(図-4)とくらべて、吸着量が小さかった。アンモニア態窒素の吸着量は硝酸態窒素と比較すると通年で小さく、2回目の回収時に若干大きかった。

塩基類の吸着量は計測期間の積算でカルシウムが17.4μmol cm<sup>-2</sup>、マグネシウムが7.0μmol cm<sup>-2</sup>、カリウムが2.5μmol cm<sup>-2</sup>であり、カルシウムが最も大きく、カリウムが最も小さかった。モルあたりの硝酸吸着量が286.9μmol cm<sup>-2</sup>であるのに比べ、ミネラル類の吸着量は小さかった。吸着量の季節変化は、カルシウムについては測定6回目の値を除いて測定期間中の平均気温の

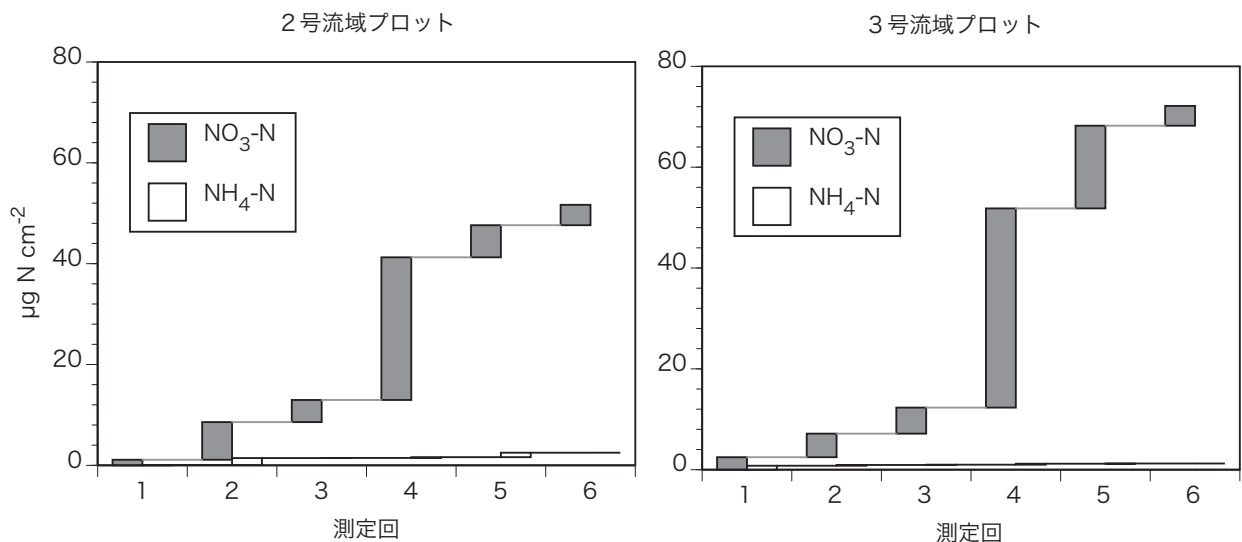


図-2. 無機態窒素吸着量の積算値

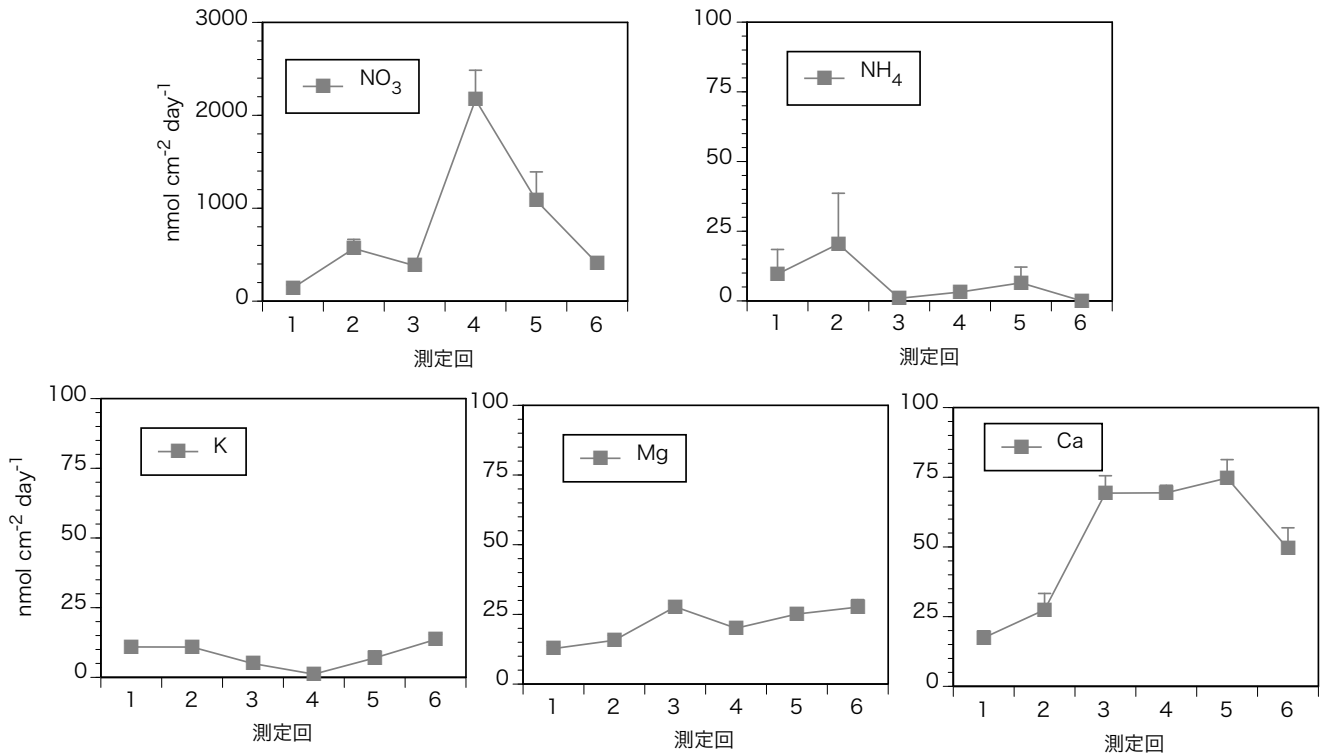


図-3. 可給態養分吸着量の季節変化  
誤差線は母平均の標準誤差を表す

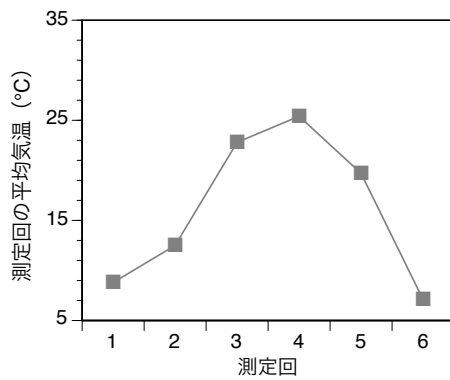


図-4. 測定期間中の平均気温  
アメダス鹿北観測地点における各測定期間中の  
1時間毎の気温を平均した

変化とはほぼ同調していた (図-4)。マグネシウムの季節変化は一定の傾向が見られず、カリウムの季節変化は逆に気温と反比例する傾向にあった。

硝酸とカルシウムの吸着量は有意な相関があった (図-5;  $R = 0.46$ ;  $P < 0.05$ )。3回目の測定値をのぞいた場合、相関係数が高くなった ( $R = 0.61$ )。

#### IV. 考察

斜面上部において、土壌中の無機態窒素はアンモニア態が優占するという報告がある (Tokuchi *et al.*, 1999; 平井ほか, 2007) が、斜面上部であっても現地測定法である埋設法やイオン交換樹

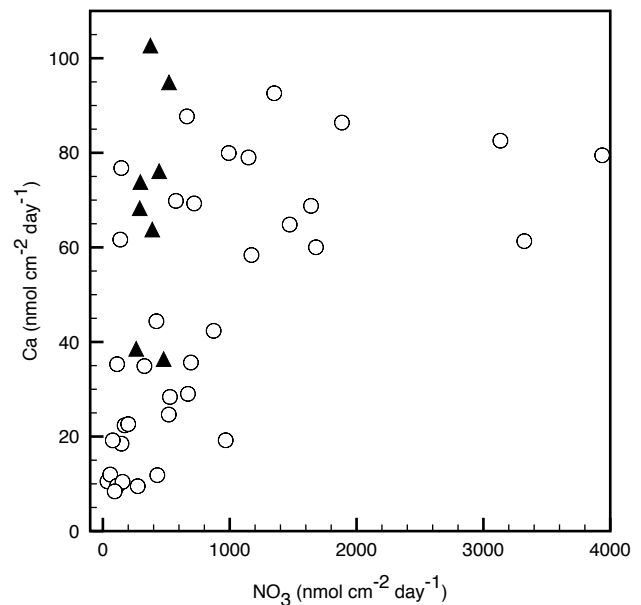


図-5. 各測定地点における硝酸とカルシウムとの関係  
三角は測定3回目の値を示す

脂法で測定した結果では硝酸態窒素が優占する事例も数例報告されている (Hirobe *et al.* 2001; 館野ほか, 2010; 稲垣ほか, 2012)。本研究の結果も斜面上部において硝酸態窒素が優占し、土壌溶液中の組成とも一致した (釣田ほか, 2012)。アンモニア態窒素が優占される場合は、特に人為影響の少ない地域において硝酸化の経路が何らかの要因で阻害され窒素の流出が抑制されている

(Perakls and Hedin, 2002)。大陸から近い南九州の結果（館野ほか, 2010）や関東平野辺縁部の結果（稲垣ほか, 2012）は、人為的な窒素降下物の影響が強いと考えられ、それが硝酸化成を促進している可能性がある。本試験地の降雨による窒素流入量は約  $12\text{kg N ha}^{-1}\text{年}^{-1}$  で、溪流からの流出量は  $2\text{kg N ha}^{-1}\text{年}^{-1}$  であった（釣田ほか, 2012）。本試験地では流出に影響が及ぶほど窒素負荷量が多いわけではないが、本研究の結果も降雨中の人為由来の窒素化合物が土壌中の硝酸態窒素の割合に影響を及ぼしている可能性がある。

土壌溶液中の硝酸イオンはカルシウムイオン、もしくはカルシウム+マグネシウムと対イオンとなる事例が多い（大手・徳地, 1997；浦川ほか, 2005；小柳ほか, 2007）。本研究の結果も硝酸とカルシウムで有意な相関があった（図-5）。このため、暖かい時期のカルシウムイオンの生成は、温度変化によって生成した硝酸態イオンが粘土鉱物中のカルシウムを溶出させた事によるものと考えられた。硝酸態窒素の3回目の測定値は、カルシウムとの化学量比が他の測定回と異なっていたことを考慮すると、本来生成していた硝酸が植物吸収によって失われていたものと考えられた。硝酸が吸収された分、水酸基などの陰イオンがカルシウムの対イオンになっていた可能性がある。5月~7月という期間は樹木の成長期であり、8月になると成長が停止する。そのため4回目以降の硝酸態窒素の値はカルシウムと一定の割合を保っていたと考えられた。関東平野辺縁部の人工林土壌中の塩化カリウム抽出サンプルの季節変化も、6月頃に硝酸の割合が低くなる傾向が見られている（稲垣ら, 2012）。

硝酸の吸着量と比べると塩基類の吸着量は少なかった。イオン交換膜の結果は土壌溶液と異なり、必ずしもイオンバランスが保たれるわけではない。理由の一つには風化が進んで塩基含量が少ないという、変成岩土壌の特徴（農林省林業試験場, 1968）が反映されていた可能性が考えられる。カルシウムは硝酸の生成に伴って粘土鉱物から溶出したものと考えられるが、硝酸の影響が少ないカリウムは通年で低い値が保たれていた。もう一つは、陰イオンと陽イオンの吸着強度が異なっていたという測定手法上の可能性が残されている。今後、土壌中の塩基類の豊富な森林と比

較を行い、検証する必要がある。

## 謝辞

本研究はJSPS 科研費 24580233 による助成を受けた。採取試料の分析には非常勤職員の阪本由美子氏、作森あかね氏のご協力をいただいた。ここに、厚く感謝の意を表します。

## 引用文献

- Binkley, D. *et al.* (2004) For. Ecol. Manage. 193 : 5-16.  
 Fukushima, K. *et al.* (2011) J. For. Res. 16 : 394-404.  
 平井敬三ほか (2007) 森林立地 49 : 51-59.  
 Hirobe, M. *et al.* (2001) 森林応用研究 10 : 19-25.  
 今矢明宏・重永英年 (2008) 九州森林研究 61 : 146-147.  
 稲垣昌宏ほか (2012) 関東森林研究 63 : 101-104.  
 稲垣昌宏 (2014) 森林総研九州支所年報 26 : 9.  
 農林省林業試験場 (1968) 林野土壌層断面図集 2 84 pp. 農林省林業試験場.  
 大手信人・徳地直子 (1997) 水文・水資源学会誌 10 : 463-476.  
 小柳信宏ほか (2004) 日林誌 86 : 134-143.  
 小柳信宏ほか (2007) 日林誌 89 : 151-159.  
 Perakls, S.S. and Hedin, L.O. (2002) Nature 415 : 416-419.  
 Qian *et al.* (1992) Commun. Soil Sci. Plant Anal. 23 : 1791-1804.  
 Qian *et al.* (2008) Ion supply rates using ion-exchange resins. (*In* Soil sampling and methods of analysis. Carter M.R. and Gregorich E.G. (eds.) 1224 pp, CRC Press, Boca Raton, FL), 135-140.  
 館野隆之輔ほか (2010) 鹿大演研報 37 : 129-136.  
 Tokuchi, N. *et al.* (1999) Ecol. Res. 14 : 361-369.  
 釣田竜也ほか (2012) 九州森林研究 65 : 93-95.  
 浦川梨恵子ほか (2005) 日林誌 87 : 471-478.  
 (2014年11月11日受付；2014年12月24日受理)