

論文

施肥開始から 18 年間のトドマツ針葉とウダイカンバ落葉の養分濃度変化

長倉淳子<sup>1</sup>・古澤仁美<sup>1</sup>・相澤州平<sup>1</sup>・伊藤江利子<sup>2</sup>・橋本徹<sup>2</sup>

1 森林総合研究所

2 森林総合研究所北海道支所

**要旨：**施肥の継続が樹木の養分状態に与える影響を明らかにするため、窒素(N)、リン(P)、カリウム(K)の連年施肥を1978年から受けているトドマツ林とウダイカンバ林において採取した18年分のトドマツ当年生針葉およびウダイカンバ落葉について、N、P、K、カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)、マンガン(Mn)、アルミニウム(Al)濃度を測定した。トドマツ針葉では施肥区でN、P濃度が高まったが、K濃度の処理間差は不明瞭だった。ウダイカンバ落葉では、N、K、P濃度の処理間差が不明瞭だった。Ca濃度は両樹種とも処理間に明瞭な違いはみられなかった。ウダイカンバ落葉のMg濃度は施肥区で低かった。ウダイカンバ落葉ではMn濃度が、トドマツ針葉ではMnとAl濃度が、無施肥区より施肥区で高く、施肥による土壌酸性化の影響と考えられた。

**キーワード：**施肥、養分状態、養分引き戻し、土壌酸性化

Changes in the nutrient concentrations in Todo fir current needles and Monarch birch senesced leaves following 18 years of fertilization

Junko NAGAKURA<sup>1</sup>, Hitomi FURUSAWA<sup>1</sup>, Shuhei AIZAWA<sup>1</sup>, Eriko ITOH<sup>2</sup>, Toru HASHIMOTO<sup>2</sup>

Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), 1 Matusunosato, Tsukuba 305-8687

FFPRI, Sapporo 062-8516

**Abstract:** To clarify the influence of annual fertilization on the nutrient status of trees, we measured the concentrations of nitrogen (N), phosphorous (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), manganese (Mn), and aluminum (Al) in the leaves collected from fertilized (NPK or NP) and nonfertilized (control) plots in a Monarch birch (*Betula maximowicziana*) stand and a Todo fir (*Abies sachalinensis*) stand for 18 years. In fir current needles, the concentrations of N and P were higher in fertilized plots than in control plots; however, the difference in K concentration between the plots was unclear. In birch senesced leaves, the difference in N, K and P concentrations between the plots was unclear. No obvious difference was observed in Ca concentration between fertilized and control plots in both species. Concentration of Mg in birch senesced leaves was lower in fertilized plots. Concentration of Mn in birch senesced leaves and concentrations of Mn and Al in fir current needles were higher in fertilized plots than in control plots.

**Key-word:** fertilization, nutrient status, nutrient remobilization, soil acidification

I はじめに

森林生態系では、土壌から吸収された養分は落葉落枝として土壌に供給される養分循環が行われている。しかし循環する養分だけでは林木の旺盛な生育には不十分である場合もある。林地への施肥は、新規植栽地や林冠が閉鎖していない幼齢林では林冠閉鎖までの期間を短縮するために、壮齢林以降では材の完満度を高め、病虫害の発生を軽減するために行われる(2, 8)。しかし、林地への施肥は、幼齢林では葉色が濃くなり乾物生産量が増

加するといった施肥効果が表れやすいが、成木林では林齢や土壌型によっては効果がみられないこともある。また、施肥は成長促進効果を持つ一方で、土壌中のミネラルを流亡させ、土壌酸性化を招くおそれもある。

本研究では、施肥および施肥の継続によって林木の栄養状態がどのように変化するのかを明らかにすることを目的とした。樹木の養分状態を最もよく反映するのは葉であるため、施肥効果を診断するために葉分析法を用いる。葉分析法では、採取時期としては葉が十分に成熟し

た9月下旬から10月頃採取する場合(3)と、成長が休止した10月下旬から12月中旬に採取する場合があるが(8)、本研究では後者を採用した。

## II 材料と方法

**1. 調査地** 森林総合研究所北海道支所(北海道札幌市)構内の土壤環境長期モニタリング試験林(北緯43°00′, 東経141°23′)のトドマツ林とウダイカンバ林を調査地とした。調査地の年平均気温は7.4°C(2000~2013年)(4)、年平均降水量は1121mm(2007~2012年)(溝口未発表)である。おおむね平坦な地形で、標高は150m、土壌は適潤性淡黒色土である。1973年9月に火入れ地拵えしたのち、トドマツは同年10月に、ウダイカンバは1974年4月に植栽された。1978年には無施肥区(対照区)、NPKの3要素施肥区(NPK区)、NPの2要素施肥区(NP区)の3種類の処理区を設定し、毎年1回春の施肥を開始した。各処理区の大きさは、トドマツでは20m×24m(480m<sup>2</sup>)、ウダイカンバでは16m×18m(288m<sup>2</sup>)である。NPK区では林業用複合肥料マルリンスーパー1号、NP区では硫酸アンモニウムと過リン酸石灰を肥料として用いた。試験地の詳細については、(1)に記載されている。

**2. 試料** 葉試料は施肥を開始した1978年から1995年にかけての18年間、毎年採取した。トドマツは成長休止期の10月下旬から12月下旬にかけて、ウダイカンバは10月下旬から11月上旬にかけて葉試料を採取した。トドマツでは各区9本の標本木を定め、毎年これらの標本木の先端から2年生枝の当年生針葉を採取し、9本分をまとめて1サンプルとした。ウダイカンバは落葉であり、各区落ちてくる新鮮な落葉を100枚程度拾い集め、まとめて1サンプルとした。しかし、1979年と1991年は採取が遅れ、林床に落ちている落葉を集めた。通常、葉分析法では、樹冠上部の当年葉を採取するが、ウダイカンバは落葉なので着葉していた位置は不明である。落葉では、養分引き戻しへの施肥の影響を調べる。

**3. 分析** 葉試料は70°Cで48時間以上乾燥後粉碎し、分析に供した。窒素、炭素濃度はNCアナライザ(NC-22F, 住友化学)を用いた乾式燃焼法で測定した。P, K, Ca, Mg, Mn, Al濃度は、試料を硝酸と過酸化水素で湿式灰化した後、ICP質量分析計(Agilent7700x, アジレント)で定量した。

## III 結果と考察

**1. トドマツ当年葉の養分濃度** トドマツ当年葉のN濃度は、施肥開始当年(1978年)から対照区に比べて、施肥区(NPK区、NP区)で高かった(図-1)。N濃度は

その後も対照区より施肥区で高かったが、施肥5年目(1982年)までが特に顕著だった。P濃度は施肥開始当年には施肥区とNPK区がほぼ同じだったが、施肥2年目からは対照区に比べて、施肥区(NPK区、NP区)で高かった(図-2)。施肥2年目以降はP濃度もN濃度と同様に、対照区より施肥区で高い状態が続き、施肥5年目(1982年)までが特に顕著だった。KはNPK区でのみ施肥しているが、葉のK濃度は施肥4年目、7年目にNPK区で高かったものの、処理間差がはっきりしない年が多かった(図-3)。葉のCa濃度とMg濃度の処理間差は不明瞭だった(図-4, 5)。葉のAl濃度は施肥2年目から対照区に比べて両施肥区で高くなり、17年間継続した(図-6)。葉のMn濃度は施肥2年目からNP区で他の処理区より高い状態が継続した(図-7)。施肥10年目ごろから対照区との差が大きくなり、施肥12年目ごろからNPK区でも対照区よりMn濃度が高まった。

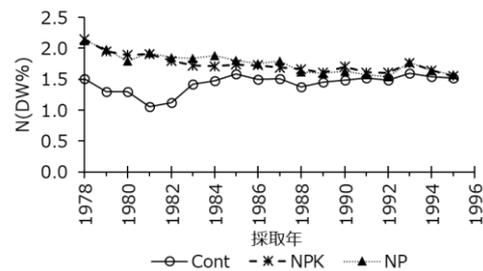


図-1. トドマツ当年葉のN濃度経時変化  
Fig.1 Changes in N concentration in current needle of fir.

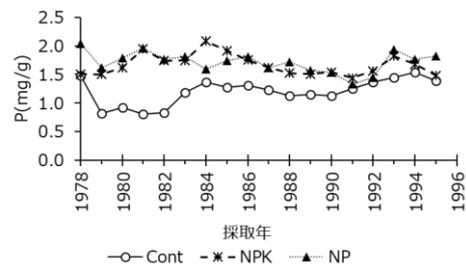


図-2. トドマツ当年葉のP濃度経時変化  
Fig.2 Changes in P concentration in current needle of fir.

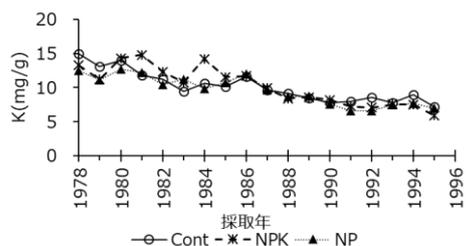


図-3. トドマツ当年葉のK濃度経時変化  
Fig.3. Changes in K concentration in current needle of fir.

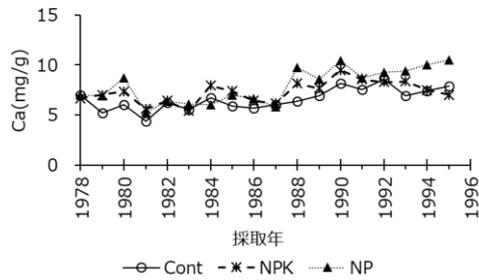


図-4. トドマツ当年葉の Ca 濃度経時変化  
Fig.4. Changes in Ca concentration in current needle of fir.

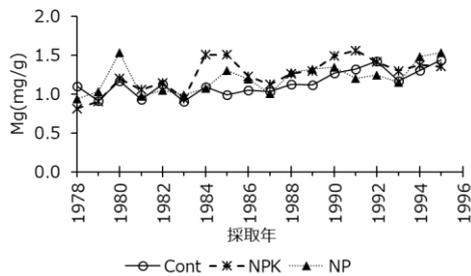


図-5. トドマツ当年葉の Mg 濃度経時変化  
Fig.5. Changes in Mg concentration in current needle of fir.

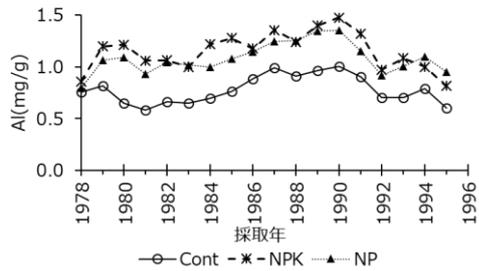


図-6. トドマツ当年葉の Al 濃度経時変化  
Fig.6. Changes in Al concentration in current needle of fir.

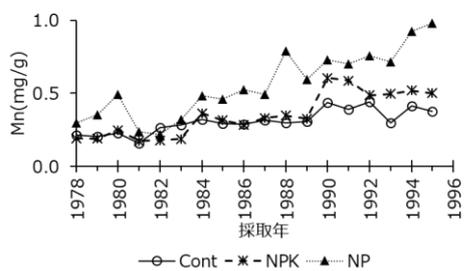


図-7. トドマツ当年葉の Mn 濃度経時変化  
Fig.7. Changes in Mn concentration in current needle of fir.

2. ウダイカンバ落葉の養分濃度 ウダイカンバは落葉を採取したため、養分は樹体に引き戻された後である。同じ林分で2011年夏に採取した葉のN濃度は約3%だった(5)。落葉のN濃度は、施肥1-2年目は対

照区に比べて施肥区(NPK区, NP区)で高かったものの、その後処理間差は不明瞭となり約1%となった(図-8)。ウダイカンバは個体が大きくなるとNが潤沢でも、落葉時には一定濃度(約1%)になるまでNを引き戻す可能性がある。P濃度は年変動が大きく、一定の傾向を示さなかった(図-9)。K濃度も年変動が大きく、施肥7-10年目にはNP区で低かったが、処理間差は不明瞭だった。K濃度が低い年のうち、1979年と1991年は林床の落葉を採取したため、Kが溶脱して低かったと考えられる(図-10)。Ca濃度も年変動が大きく、処理による一定の傾向がみられなかった(図-11)。Mg濃度は施肥5年目から施肥区、特にNP区で低い傾向がみられた(図-12)。ウダイカンバ落葉のAl濃度の処理間差は不明瞭だったが(図-13)、Mn濃度は施肥1年目から施肥区、特にNP区で高かった(図-14)。

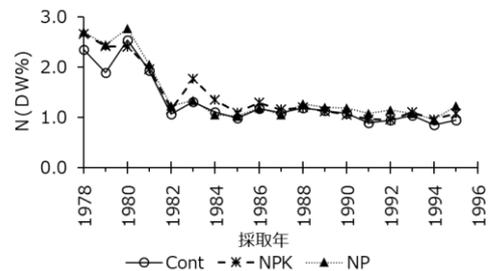


図-8. ウダイカンバ落葉の N 濃度経時変化  
Fig.8. Changes in N concentration in birch senesced leaves

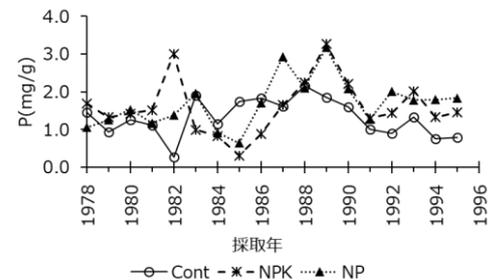


図-9. ウダイカンバ落葉の P 濃度経時変化  
Fig.9. Changes in P concentration in birch senesced leaves.

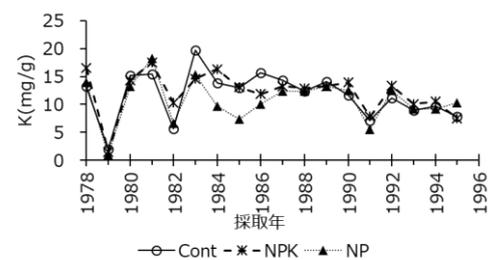


図-10. ウダイカンバ落葉の K 濃度経時変化  
Fig.10. Changes in K concentration in birch senesced leaves.

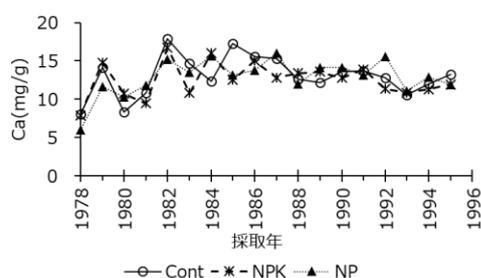


図-11. ウダイカンバ落葉の Ca 濃度経時変化  
Fig.11. Changes in Ca concentration in birch senesced leaves.

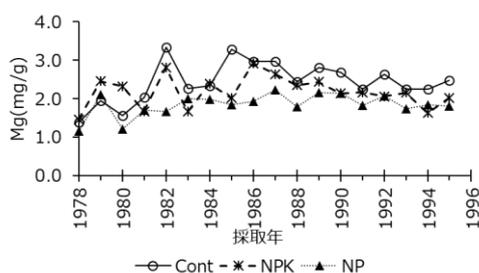


図-12. ウダイカンバ落葉の Mg 濃度経時変化  
Fig.12. Changes in Mg concentration in birch senesced leaves.

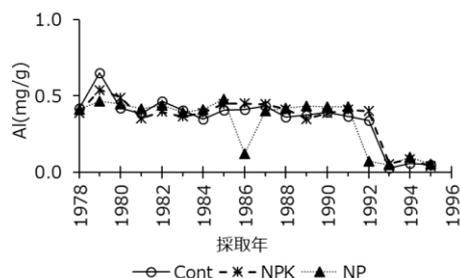


図-13. ウダイカンバ落葉の Al 濃度経時変化  
Fig.13. Changes in Al concentration in birch senesced leaves.

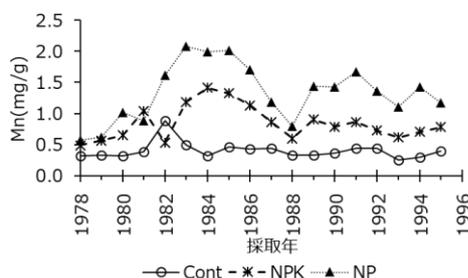


図-14. ウダイカンバ落葉の Mn 濃度経時変化  
Fig.14. Changes in Mn concentration in birch senesced leaves.

3. まとめ 本研究では各年の各区の繰り返しは 1 であるため統計解析ができないが、何年間も一貫した傾向がみられた項目は施肥の影響を示唆できると考えられる。トドマツ当年葉では施肥によって N, P 濃度が高ま

ったが、K 濃度は NPK 区でも高まらなかった。トドマツの K 濃度は 5.0~9.1mg/g という報告があるが (6), この試験地では対照区でも 7mg/g を下回ることにはなかった。樹木の成長にとって K が不足していないのかもしれない。施肥区では Mn 濃度 (特にウダイカンバ) やトドマツの Al 濃度が高まり、その状態が続いている。施肥による土壌酸性化によって (7) Mn や Al が溶出している可能性がある。施肥により初期の生産性は高まったが、その後成長差は拡大していない (1)。施肥開始から 40 年以上経過した現在も施肥が続けられていることから、将来的には土壌酸性化による Al や Mn の過剰害により成長低下が生じる可能性が考えられ、今後もモニタリングを続けていく必要がある。

謝辞: 真田勝さんには貴重な試料を使用させていただいた。湿式灰化では張春花さん、養分分析では竹内菜穂子さんにご協力いただいた。本研究は JSPS 科研費 17K07866 の助成を受けて行われ、研究の一部は森林総合研究所の「家族責任がある研究者のための支援制度」による研究支援を受けた。

#### 引用文献

- (1) 相澤州平・伊藤江利子・橋本徹・阪田匡司・酒井寿男・田中永晴・高橋正通・松浦陽次郎・真田勝 (2012) トドマツ, エゾマツ, アカエゾマツおよびウダイカンバ人工林の 37 年間の成長経過と施肥の影響. 北森研 60:93-99
- (2) 藤田桂治 (1977) 成木施肥. 全国林業改良普及協会, 東京, 182pp
- (3) 後藤和秋 (1977) 葉分析による林木の栄養診断にたいする 2・3 の考察. 林試研報 290:35-75
- (4) 溝口康子・山野井克己・北村兼三・中井裕一郎・鈴木寛 (2014) 札幌森林気象試験地の気象 (1999~2008 年). 森林総研研報 433:193-206
- (5) 長倉淳子・古澤仁美・伊藤江利子・相澤州平・橋本徹 (2014) 連年施肥がウダイカンバの養分状態に及ぼす影響. 関東森研 65:99-102
- (6) 大友玲子・原田洸 (1971) トドマツ, エゾマツ, アカエゾマツ当年葉の養分濃度と樹高成長の関係および養分要度についての考察. 日林北講 19:113-115
- (7) 真田勝・大友玲子・真田悦子 (1997) 林地肥培林における表層土壌の変化. 日林論 108:201-202
- (8) 芝本武夫 (1977) 森林の土壌と肥培. 農林出版株式会社, 東京, 142pp