

## 速報

## スギ葉枯れ症状発生林分の針葉の K, Mg, Ca 含有量の特徴\*1

— 大分県山国町、熊本県水上村、鹿児島県東郷町の事例調査と全国値との比較から —

重永英年\*2 · 荒木眞岳\*2 · 釣田竜也\*2 · 長倉淳子\*3

キーワード：スギ、衰退、葉枯れ、針葉養分含有量、カリウム

## I. はじめに

1990年代以降、九州各地のスギ人工林において、一次枝の枝齡が進んだ部位に着生する二次枝が、通常より早い年数で赤褐色や黄褐色に変色して、枯死・脱落する症状、いわゆる「葉枯れ」症状を示すスギ個体が観察されるようになった（讚井・西村，2001；黒木ほか，2005；讚井・黒木，2007）。症状は樹冠上部から始まり、樹冠の変色や透けといった衰退した外観が特徴となる。現在のところ、枯死に至る事例はほとんど知られていない。しかしながら、九州の広域で発生し（今矢・重永，2006）、近年ではその地域が拡大傾向にあること（今矢・重永，2008；讚井ほか，2008）、多くは40年生前後の壮齡林で発生し、林分内のほぼ全ての個体で症状がみられる場合があること（黒木ほか，2005；讚井・黒木，2007）などから、スギ人工林の長伐期への移行、再造林の際の植栽樹種や品種選択といった施業の問題と絡めて、原因解明と対応策を求める現場の声が大きくなっている。

欧州では、1970年代以降に、樹冠の変色や葉量の低下を特徴とする森林衰退が発生し、広域かつ急速な拡大を示すことから、'new type' forest damage と呼ばれ、大きな問題となった（Schulze，1989）。衰退には様々な要因が関わっていると考えられているが、ヨーロッパトウヒの衰退には、マグネシウム（Mg）、カリウム（K）、カルシウム（Ca）等の養分状態の攪乱が部分的に関与していることが指摘されている（Porter and Lawlor，1991）。スギ葉枯れ症状については、病害が主因である可能性は低く（黒木・讚井，2005；秋庭ほか，2005）、土壌の低養分や塩基バランスの不均衡（福里ほか，2005；今矢ほか，2005；今矢・重永，2007；今矢・重永，2008）による養分ストレスの関与が示唆された。一方、土壌の化学性のみによって、症状発生の有無が説明できない事例も報告されている（福里ほか，2009；福里ほか，2010）。

長倉ほか（2008）は、表層地質の境界に沿ってスギ葉枯れ症状発生の有無が分かる宮崎県椎葉村の隣接林地間で、また、熊本県湯前町、同水上村および福岡県添田町の3ヶ所の症状発生林地と、福岡県矢部村および熊本県熊本市の2ヶ所の未発生林地とで、針葉の K, Mg, Ca 含有量を比較し、針葉の K 含有量が発生林

地では未発生林地に比べて低い傾向にあったことから、葉枯れ症状の発生原因として K 欠乏の可能性を示唆した。しかしながら、日本各地に生育するスギと比較して、発生林地では樹体の K の栄養状態が特異的に低いレベルにあるかについては明らかでない。

本研究では、大分県山国町、熊本県水上村、鹿児島県東郷町の葉枯れ症状が顕著な3ヶ所の林分とともに、全国の500以上の地点から採取されたスギ針葉の K, Mg, Ca 含有量を調べ、両者の比較から、葉枯れ症状発生林分における樹体の栄養状態の特徴を明らかにすることを目的とした。

## II. 調査地と方法

大分県山国町（Y）、熊本県水上村（M）、鹿児島県東郷町（T）のスギ人工林を調査地とした。前二者では、林分内のほぼ全ての個体で葉枯れ症状が観察され、2009年時点における林齡は、調査地 Y で44年生、調査地 M で51年生であった。調査地 T は、林齡が80年生の高齡林で、概ね半数以上の個体で葉枯れ症状がみられた。調査地 Y と調査地 M については、面積が約0.05 ha の2つのプロット（Y-1, Y-2, M-1, M-2）を、調査地 T については、面積が約0.1 ha の4つのプロット（T-1, T-2, T-3, T-4）を設定した。2010年2月から同年4月にかけて各プロットで実施した毎木調査の結果を表-1に示した。

2010年の2月から3月の時期に、木登りステップ（巴化成工業、

表-1. 調査地の林況

調査地	プロット	面積 (ha)	本数密度 (ha <sup>-1</sup> )	胸高直径 (cm)	樹高 (m)
山国	Y-1	0.050	1021	27.0(2.3)	24.2(1.8)
	Y-2	0.050	1021	26.0(2.5)	23.1(0.9)
水上	M-1	0.052	1055	28.8(4.9)	22.9(1.6)
	M-2	0.054	922	30.7(4.4)	22.5(1.6)
東郷	T-1	0.117	526	46.4(8.5)	27.8(1.8)
	T-2	0.094	466	42.4(9.4)	23.8(2.2)
	T-3	0.124	532	44.5(8.8)	26.4(2.1)
	T-4	0.110	760	37.8(9.1)	23.7(2.1)

（ ）内は標準偏差

\*1 Shigenaga, H., Araki, M., Turita, T., and Nagakura, J. : Characteristics of needle K, Mg, and Ca contents in declining sugi (*Cryptomeria japonica*) plantations.

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

\*3 森林総合研究所 For. Forest Prod. Res. Inst., Ibaraki 305-8687

表-2. 葉枯れ症状発生林分におけるスギ針葉の養分含有量

調査地	プロット	n	K (mg g <sup>-1</sup> )	Mg (mg g <sup>-1</sup> )	Ca (mg g <sup>-1</sup> )
山国	Y-1	8	2.59(0.27) <sup>a</sup>	1.80(0.26) <sup>a</sup>	8.7(1.6) <sup>a</sup>
	Y-2	8	2.58(0.54) <sup>a</sup>	1.48(0.14) <sup>b</sup>	6.6(0.7) <sup>b</sup>
水上	M-1	9	2.46(0.29) <sup>a</sup>	1.75(0.32) <sup>a</sup>	9.1(2.0) <sup>a</sup>
	M-2	8	2.43(0.38) <sup>a</sup>	1.68(0.33) <sup>a</sup>	10.7(2.5) <sup>a</sup>
東郷	T-1	5	3.27(0.58) <sup>a</sup>	1.66(0.21) <sup>a</sup>	12.5(3.4) <sup>a</sup>
	T-2	5	2.69(0.34) <sup>a</sup>	1.70(0.51) <sup>a</sup>	12.8(1.7) <sup>a</sup>
	T-3	5	3.08(0.39) <sup>a</sup>	1.50(0.25) <sup>a</sup>	11.1(0.7) <sup>a</sup>
	T-4	6	2.54(0.60) <sup>a</sup>	2.04(0.32) <sup>a</sup>	14.3(2.2) <sup>a</sup>

( ) 内は標準偏差。

異なるアルファベットは各調査地のプロット間で平均値に有意 ( $p < 0.05$ ) な差が認められたことを示す (調査地 Y, M については  $t$  検定, 調査地 T については ANOVA)。

スーパーステップ) を利用して、各プロット内の 1 個体に登攀し、隣接木も含めて 5~8 本の個体の陽樹冠から、一次枝先端部を採取した。採取した枝は実験室に持ち帰り、当年生部分を切り分けて 65℃ の乾燥器で乾燥した後、粉碎器で粉化し、養分含有量測定のための試料とした。粉化試料については、約 0.1 g を 50 ml の 1 N 塩酸で浸透抽出し、濾液を K, Mg, Ca の分析に供した。分析は、原子吸光分析計 (HITACHI, Z-2000) を使用した。各元素の含有量は、別途、85℃ で乾燥して求めた粉化試料の乾燥係数を用いて、単位乾物量あたりで表した。

全国のスギ針葉の K, Mg, Ca 含有量の分析には、酸性雨等森林衰退モニタリング事業において、1990 年から 1994 年の期間に日本各地から採取され (林野庁, 1997)、針葉窒素含有量の分析が実施された 531 地点の試料 (重永ほか, 2008) を利用した。K, Mg, Ca 含有量の定量は、上記と同様の方法で行った。

### Ⅲ. 結果と考察

針葉の K 含有量は、調査地 Y で約 2.6 mg g<sup>-1</sup>、調査地 M で約 2.4 mg g<sup>-1</sup> と、両調査地で同程度の値を示し (表-2)、各調査地ともプロット間の違いは認められなかった。調査地 T の K 含有量は、T-1 で 3.27 mg g<sup>-1</sup>、T-4 で 2.54 mg g<sup>-1</sup> と、プロット間で若干のばらつきがあったが、その差は有意でなく、調査地全体の平均値は 2.88 mg g<sup>-1</sup> であった。

針葉の Mg 含有量は、調査地 Y では、Y-1 で 1.80 mg g<sup>-1</sup>、Y-2 で 1.48 mg g<sup>-1</sup> と、プロット間で差がみられた。調査地 M では、M-1、M-2 とともに約 1.7 mg g<sup>-1</sup> の値を示した。調査地 T では、1.50 mg g<sup>-1</sup> から 2.04 mg g<sup>-1</sup> と、プロット間で若干のばらつきがあったが、その差は有意でなかった。各調査地で複数のプロットをまとめて算出した Mg 含有量の平均は、調査地 Y, M, T のそれぞれで、1.64 mg g<sup>-1</sup>、1.72 mg g<sup>-1</sup>、1.74 mg g<sup>-1</sup> と、3 つの調査地で有意な差は認められなかった (ANOVA,  $p > 0.05$ )。

針葉の Ca 含有量は、調査地 Y では、Y-1 で 8.7 mg g<sup>-1</sup>、Y-2 で 6.6 mg g<sup>-1</sup> と、Mg 含有量と同様に Y-2 で低かった。調査地 M では、M-1、M-2 とともに約 10 mg g<sup>-1</sup> で、プロット間の差はみられなかった。調査地 T では、11.1 mg g<sup>-1</sup> から 14.3 mg g<sup>-1</sup> と、プロット間でばらつきがあったが、有意な差で

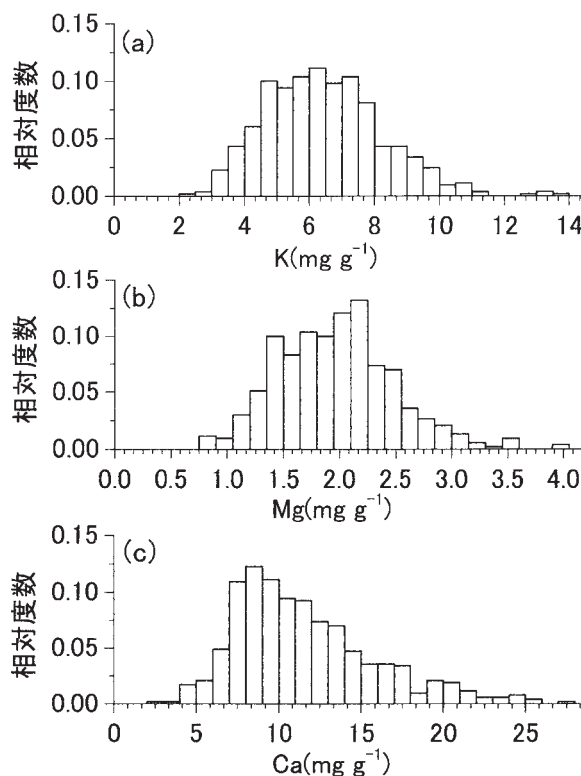


図-1. 全国 531 地点のスギ針葉の K(a), Mg(b), Ca(c) 含有量の頻度分布

はなかった。各調査地で複数のプロットをまとめて算出した Ca 含有量の平均は、調査地 Y, M, T のそれぞれで、7.6 mg g<sup>-1</sup>、9.8 mg g<sup>-1</sup>、12.7 mg g<sup>-1</sup> で、調査地間で有意な差がみられた (ANOVA,  $p < 0.05$ )。

以上のように、今回調査した葉枯れ症状が観察される 3ヶ所の林分では、針葉の K 含有量の平均値は 3.0 mg g<sup>-1</sup> 以下で、Mg 含有量は約 1.7 mg g<sup>-1</sup> という共通した特徴があった。

日本各地の 531 地点から採取されたスギ針葉では、K 含有量は 2.48 mg g<sup>-1</sup> から 13.8 mg g<sup>-1</sup> の範囲にあり (図-1 a)、平均値は 6.45 mg g<sup>-1</sup> であった。1 パーセント値は 3.07 mg g<sup>-1</sup>、5 パーセント値は 3.74 mg g<sup>-1</sup> となり、表-2 に示した K 含有量の多くは 1 パーセント値以下に位置した。Mg 含有量は 0.77 mg g<sup>-1</sup> から 3.99 mg g<sup>-1</sup> の範囲にあり (図-1 b)、平均値は 1.97 mg g<sup>-1</sup> であった。20 パーセント値は 1.49 mg g<sup>-1</sup>、60 パーセント値は 2.08 mg g<sup>-1</sup> となり、表-2 に示した Mg 含有量は、ほぼ両者の範囲内に含まれていた。Ca 含有量の最小値は 2.9 mg g<sup>-1</sup>、最大値は 27.8 mg g<sup>-1</sup> で (図-1 c)、平均値は 11.6 mg g<sup>-1</sup> であった。表-2 に示した Ca 含有量の全国値のなかでの位置は、プロットによって異なり、10 パーセント値以下の場合と、70 パーセント値以上の場合があった。

以上の結果からは、葉枯れ症状が観察される 3 林分で共通して認められた 1.7 mg g<sup>-1</sup> 程度の Mg 含有量は、全国値の平均よりは低い、スギが通常取り得る範囲内にあり、一方、3.0 mg g<sup>-1</sup> 以下という K 含有量は、野外に生育するスギとしては極端に低い値であることが明瞭である。全国 531 地点のうち、九州の 79 地点の K 含有量の平均値は 5.84 mg g<sup>-1</sup> と、それ以外の地点の 6.56 mg g<sup>-1</sup> と比べて有意に低かったが ( $t$  検定,  $p < 0.05$ )、表-

2のK含有量を九州の地点のみと比較した場合にも、最低レベルにあることに変わりはない。また、長倉ほか(2008)が報告した発生地でのK含有量は、著者らのその後の踏査で症状が軽微と判定された福岡県添田町の林分を除けば、 $3.5 \text{ mg g}^{-1}$ 以下であり、野外に生育するスギとしてはK含有量が低いという本研究の事例と矛盾しない。

葉枯れ症状が観察される林分でスギ針葉のK含有量が極端な低値となることから、症状発生には樹体のKの栄養状態の低下が関与していることが強く示唆される。一般に、Kは体内で動きやすく、生理作用が活発な部位に集まるので、不足すると欠乏症状は古い葉から現れる(山崎ほか, 1993)。スギの葉枯れの場合も、一次枝の枝齢が進んだ部位に着生する二次枝が変色して、早期に枯死・脱落することを特徴としており、症状の様子からもK欠乏の可能性が支持される。

#### Ⅳ. おわりに

本研究では、葉枯れ症状発生林分の針葉養分含有量を全国のスギ林の値と比較することで、発生林分における樹体の栄養状態の特徴を明らかにし、低いカリウムの栄養状態が症状の発生に関与していることを指摘した。本説の検証には、カリウムの栄養状態の改善が症状回復に繋がることを確認する必要がある。本研究で設置したプロットでは、2010年度から施肥試験を開始しており、今後、肥料成分の土壌水への溶出、針葉の養分含有量の変化、症状の推移と成長量への影響等について調査を進める予定である。

スギ葉枯れ症状の発生の有無は、立地条件や品種によって異なる可能性が示唆されており(黒木・讃井, 2004; 黒木ほか, 2005)、潜在的に発生の危険度が高い立地条件の評価、品種による感受性の差異とその機作を明らかにすることは、対策の策定に向けて、重要な課題であると考えられる。また、1990年代以降

に目立ち始めた理由を、環境変化や人工林の高齢化といった視点から検討する必要があると考える。

#### 引用文献

- 秋庭満輝ほか(2005)九州森林研究 58: 180-181.  
 福里和朗ほか(2005)九州森林研究 58: 199-201.  
 福里和朗ほか(2009)九州森林研究 62: 204-205.  
 福里和朗ほか(2010)九州森林研究 63: 183-184.  
 今矢明宏ほか(2005)九州森林研究 58: 202-205.  
 今矢明宏・重永英年(2006)九州森林研究 59: 247-248.  
 今矢明宏・重永英年(2007)九州森林研究 60: 142-143.  
 今矢明宏・重永英年(2008)九州森林研究 61: 146-147.  
 黒木逸郎・讃井孝義(2004)九州森林研究 57: 233-234.  
 黒木逸郎・讃井孝義(2005)九州森林研究 58: 177-179.  
 黒木逸郎ほか(2005)森林防疫 54: 2-13.  
 長倉淳子ほか(2008)九州森林研究 61: 150-151.  
 Porter, J. R. and Lawlor, D.W. (1979) PLANT GROWTH: interactions with nutrition and environment, 207-222, Cambridge University Press, New York.  
 林野庁(1997)酸性雨等森林被害モニタリング事業報告, 74 pp, 農林水産省林野庁, 東京.  
 讃井孝義ほか(2008)九州森林研究 61: 181-182.  
 讃井孝義・黒木逸郎(2007)樹木医学研究 11: 17-21.  
 讃井孝義・西村五月(2001)日林九支研論 54: 103-104.  
 Schulze, E. D. (1989) Science 244: 776-783.  
 重永英年ほか(2008)日林誌 90: 182-189.  
 山崎耕宇ほか(1993)植物栄養・肥料学, 80-81, 朝倉書店, 東京.

(2010年10月23日受付; 2011年1月17日受理)