

## ウリハダカエデの樹液糖度に及ぼす土壌と葉の養分の影響

宇佐美広祐<sup>1</sup>・戸田浩人<sup>2</sup>・崔東寿<sup>2</sup>

1 東京農工大学大学院農学府

2 東京農工大学大学院農学研究院

**要旨**：凸型斜面の尾根（尾根区）と林道法面沿い（法面区）に群生するウリハダカエデを対象とし、土壌養分や葉中養分の違いが樹液糖度に及ぼす影響を調査した。その結果、樹液糖度は両区で顕著な差はなく、土壌純窒素無機化速度は両区とも高く、窒素供給力による樹液糖度への影響はみられなかった。有効態リン含有率は尾根区で有意に高かった。緑葉および紅葉中の窒素およびリン濃度と樹液糖度に関係が見られないものの、緑葉から紅葉にかけての濃度差が大きい個体で樹液糖度が高く、転流による養分の引き戻しの影響がみられた。緑葉中の窒素/リン比は両区で差はなかったが、紅葉中の窒素/リン比は尾根区で高く、尾根区ではリンをより多く転流した。したがって、本調査地では樹液糖度に対しリンの転流量の影響が大きいことが示唆された。

**キーワード**：窒素，リン，転流，土壌養分，葉中養分

### Effect of soil and foliage nutrients on sap sweetness in Redvein Maple

Kousuke USAMI<sup>1</sup>, Hiroto TODA<sup>1</sup>, Dongsu CHOI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tokyo University of Agriculture and Technology

**Abstract**: We studied the relationship between soil and foliar nutrients (nitrogen and phosphorus) and sap sugar content. Sugar concentration in maple sap were higher in a ridge plot than an embankment slope plot. Net nitrogen mineralization in vitro incubation (20°C four weeks) were sufficient in both the plots. Soil phosphorus were higher in the ridge plot. There was no relationship of foliar nitrogen (N) or phosphorus (P) to sap sweetness either green leaves or red leaves. But difference in concentration between green leaves and red leaves was positively correlated with sap sweetness. Therefore, there was an effect of nutrients pulling back due to remobilization on sap sweetness. N/P ratio in green leaves was no difference between both the plots, meanwhile the ridge plot foliar N/P ratio was higher than the slope plot in red leaves. Therefore, P was remobilized than N in the ridge plot. In conclusion, it was suggested that the amount of P remobilization had a significant effect for the sap sugar content.

**Key-word**: nitrogen, phosphorus, remobilization, soil nutrients, foliar nutrients

### I はじめに

数種のカエデ属では、早春に樹幹に穴をあけて道管液である樹液を採取し、これを煮詰めてメープルシロップが生産されている。これは樹木が成長休止期に光合成産物を根や幹に蓄積し、早春の展葉に利用するためである(7)。

カエデの樹液糖度は樹木生理や土壌養分によって変化し、その研究は北米におけるものが多い。カエデの樹液糖度に影響を与える要因として、冬の気温低下が樹液糖度の上昇をもたらす(3)、樹木の健全度(6)、樹幹の肥大成長(4)、そして、生息地の土壌純窒素無機化速度および葉の窒素/リン(N/P)比といった養分状態(1)が報告されている。近年、秩父地方において、メープルシ

ロップ生産を行い、「和メープル」として発売し、エコツアーや樹液採取イベントを開催するなど注目されている。北米のメープルシロップ生産が盛んな平地林に比べ、立地環境が多様な日本の森林におけるカエデ樹液糖度への影響要因の把握は、メープルシロップ収穫への知見のみならず、樹木の環境適応や生存戦略を生理反応として知ることのできる有効な方法であると考えられる。本研究では、気象条件が同様である調査地において、土壌養分の違いや、葉の養分動態、特に落葉前の転流(養分の引き戻し)作用とカエデの樹液糖度との関係を調査した。

## II 材料と方法

1. 調査地 本研究は、群馬県みどり市に位置する東京農工大学フィールドミュージアム (FM) 草木で行った。凸型斜面の尾根 (尾根区) と林道法面沿い (法面区) の調査区を設置した。尾根区は標高 950 m の南西向きの斜面に位置し土壌型 B<sub>B</sub> 型で発達した A<sub>0</sub> 層を持ち、A 層の厚さは 2 cm であった。法面区は標高 940 m の南東向きの斜面に位置し土壌型は B<sub>c</sub> 型で L 層 F1 層は多いが H 層はわずかであった。A 層の厚さは 5 cm であった。両調査区に群生するウリハダカエデ (*Acer rufinerve* Siebold et Zucc.) を対象とし、両調査区に自生するウリハダカエデのうち直径 10 cm 以上の個体を 6 本ずつ選定し対象木とした。対象木の平均胸高直径 D と樹高 H は、法面区で D: 13.0 cm, H: 9.3 m, 尾根区で D: 14.6 cm, H: 8.0 m であった。対象木について、2020 年 2 月 18 日に電動ドリルで樹幹に径 18 mm 深さ 2 cm の穴をあけ、塩ビ管を差し込み、ホースで袋に繋ぎ、カゴで固定された袋に樹液を貯めた (図-1)。3 月 5 日、3 月 18 日、4 月 2 日の 3 回に分けて樹液を回収した。



図-1. 樹液採取装置  
Fig. 1 Maple sap sampling device

2. 調査項目 採集した樹液について、糖度計 (ASONE Spitz IP-101 α) を用いて糖度を測定した。葉中養分については 2020 年 9 月 11 日に緑葉、10 月 19 日に紅葉直前 (以降、紅前) の葉、11 月 13 日に紅葉を採取した。採取後、風乾及び粉碎処理をした後、葉中窒素を C/N コーダ (MT-700, Yanako) を用いて測定した。葉中リン濃度は、

湿式灰化後、モリブデンブルー法で吸光度を吸光光度計 (U-1800, HITACHI) で測定した。土壌養分については、土壌純窒素無機化速度と有効態リン含有率を測定した。土壌純窒素無機化速度は、2020 年 10 月 19 日に対象木周辺の表層土壌 (深さ 0~10 cm) を採取し、それぞれビン培養法 (20 °C, 4 週間培養) を用いて、土壌無機態窒素の培養後の値から初期値を差し引くことで求めた。本研究で採用したビン培養法は日本全国を対象に行われた Urakawa ら (2016) (8) と同様の設定とし、比較可能とした。無機態窒素としてアンモニウム態窒素 (NH<sub>4</sub>-N) はインドフェノール青法、硝酸態窒素 (NO<sub>3</sub>-N) は銅カドミウム還元-ナフチルエチレンジアミン法によるフローインジェクション・システム (870UV, 日本分光) を用いて測定した。有効態リン含有率については、2020 年 10 月 19 日に対象木の周辺から採取した表層土壌を風乾し、オルセン法により抽出液を得た。得られた抽出液を用いてモリブデンブルー法に準ずる処理を行い、880 nm における吸光度を吸光光度計 (U-1800, HITACHI) で測定した。

## III 結果と考察

1. 樹液糖度 本研究で採集された樹液の糖度は 0.8~1.5% であった。この値は北米でのサトウカエデ (*Acer saccharum* Marsh) の樹液糖度 1.4~4.6% (1), 1.0~3.3% (5) よりも低く、対象木の胸高直径は北米での研究 (1, 5) よりも 20 cm ほど低いことが一因かもしれない。平均樹液糖度は尾根区が法面区よりも 0.06~0.25% 高いものの、有意差は認められなかった (図-2)。また、樹木個体ごとの胸高直径と 3 期間平均の樹液糖度の間には正の相関関係がみられ (図-3)、既往の報告 (4) と一致した。一方で、個体ごとの樹高と 3 期間の平均樹液糖度との間には関係は見られなかった。以上のように、ウリハダカエデも肥大成長が良好な環境で樹液糖度が高くなることがわかった。

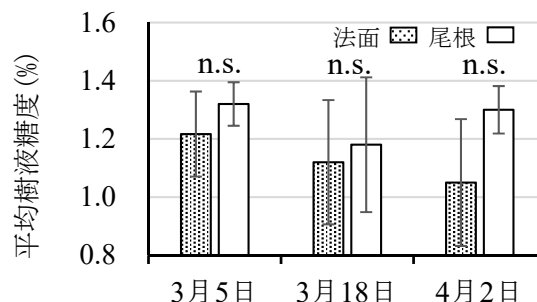


図-2. 調査区ごと平均樹液糖度  
※n.s.は t 検定を用いて調査区間で有意差がないことを表す ( $p > 0.05$ )。

Fig. 2 Average maple sap sugar concentration

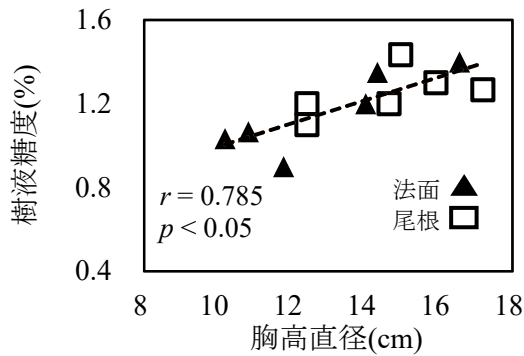


図-3. 胸高直径と樹液糖度の関係  
Fig. 3 Relationship between DBH and sap sugar concentration

2. 土壌養分 調査区別の土壌純窒素無機化速度は有意差が見られ、法面区で  $1.46 \text{ mg kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$ 、尾根区で  $0.84 \text{ mg kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$ と前者で大きかった。同様の室内培養で純窒素無機化速度を全国の森林で調査した例では、 $0.62 \pm 0.68 \text{ mg kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$ であり(8)、本調査地は比較的無機態窒素の供給力に恵まれた立地であるといえる。また、個体別の土壌純窒素無機化速度と樹液糖度の間に相関関係は見られず、北米において樹液糖度と土壌窒素無機化速度の間に正の相関関係( $r = 0.65 \text{ } p = 0.007$ )があることを示し、葉中養分や他の土壌養分より樹液糖度により強く影響していると述べた結果(1)を支持しなかった。この結果は、本調査地では無機態窒素供給が豊富であり、その差が小さく窒素供給が制限要因とならなかったことによると考えられる。

調査区別平均土壌有効態リンについては有意差が見られ、尾根区で  $20.1 \text{ mg/kg}$ 、法面区で  $6.7 \text{ mg/kg}$ と前者で高かった(表-1)。この値は東京農工大学 FM 草木のスギ林やヒノキ林、広葉樹林、アカマツ林で行われた結果  $3\text{--}23 \text{ mg/kg}$ と比較すると(2)、法面区は低く、尾根区は高い値となった。本調査地において、窒素が潤沢な場合はリンの影響が顕著になる可能性が示唆された。

表-1. 調査区別平均土壌養分  
Table 1 Average soil nutrients in plot

調査区	純窒素無機化速度 ( $\text{mg kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$ )	有効態リン含有率 ( $\text{mg/kg}$ )
法面区	1.46	6.7
SD	0.55	7.1
尾根区	0.84	20.1
SD	0.46	5.4
検定	*	*

※\*は t 検定により調査区間で有意差あり( $p < 0.05$ )を表す。

3. 葉中養分 葉中窒素濃度は全期間において法面区で有意に高く、両調査区ともに緑葉、紅前、紅葉の順に季節変化とともに減少した(表-2)。葉中リン濃度は緑葉及び紅前では両調査区で同程度となり有意差はなかったが、紅葉では法面区で有意に高かった(表-2)。葉中リン濃度は緑葉から紅前にかけて増加し、紅前から紅葉にかけて大きく減少した(表-2)。葉中窒素濃度と樹液糖度の間には、緑葉、紅前、紅葉の全ての時期において相関関係は見られなかった(データは示さない)。同様に葉中リン濃度についても全ての時期において樹液糖度との間に相関関係は見られなかった(データは示さない)。そこで、葉中窒素及びリンの転流の基準として、緑葉および紅前の濃度と紅葉中の濃度との差を求め、樹液糖度との相関をみたところ、窒素では緑葉—紅葉で  $r = 0.726$ (図-4)、紅前—紅葉では  $r = 0.633$ 、リンでは緑葉—紅葉で濃度差が小さく糖度が  $1.4\%$ と高い個体を統計的に外れ値として処理したところ、 $r = 0.755$ (図-5)、紅前—紅葉では  $r = 0.690$ であった。したがって、窒素リンともに落葉前にどれだけ転流できるかが、樹液糖度に影響していると考えられる。

葉中 N/P 比は緑葉において、法面区で 20.7、尾根区で 19.0、紅前では法面区で 18.8、尾根区で 19.1と両調査区間で有意な差は見られなかった。しかし、紅葉においては、法面区で 29.6、尾根区で 35.9と尾根区で有意に高い結果となった。既往の報告では、緑葉中窒素/リン比は樹液糖度と正の相関関係があることが報告されている(1)が、本研究では緑葉中 N/P 比と樹液糖度に関する関係は見られなかった(図-6)。したがって、樹液糖度の高い対象木では窒素よりもリンが転流し、リンの転流量がより樹液糖度に影響を及ぼす可能性が示唆された。

表-2. 調査区別平均葉中養分  
Table 2 Average foliar nutrients in plot

調査区	葉中窒素濃度 ( $\text{mg/g}$ )			葉中リン濃度 ( $\text{mg/g}$ )		
	緑葉	紅前	紅葉	緑葉	紅前	紅葉
法面区	18.6	18.2	9.1	0.9	1.1	0.4
SD	1.1	0.8	1.2	0.1	0.1	0.1
尾根区	18.9	16.5	6.7	0.9	1.0	0.2
SD	0.6	0.7	0.4	0.1	0.1	0.0
検定	*	*	*	n.s.	n.s.	*

※n.s. は調査区間で有意差なし、\*は t 検定により調査区間で有意差あり( $p < 0.05$ )を表す。

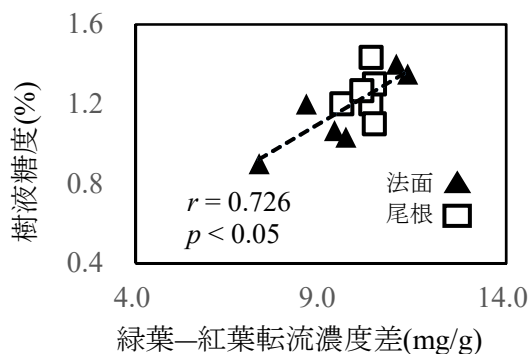


図4. 葉中窒素転流濃度差と樹液糖度の関係  
Fig. 4 Relationship between difference in foliar N concentration between green and red leaves and sap sugar concentration

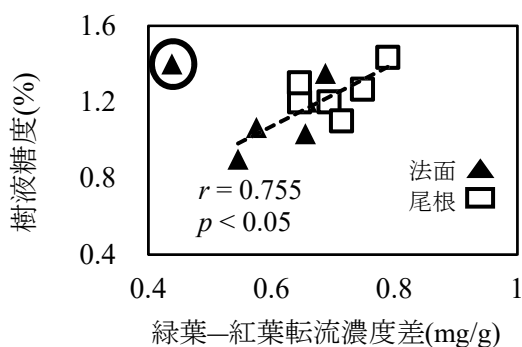


図5. 葉中リン転流濃度差と樹液糖度の関係  
○で囲まれた一点は外れ値として、スミルノフ・グラブス検定を用いて処理した。  
Fig. 5 Relationship between difference in foliar P concentration between green and red leaves and sap sugar concentration

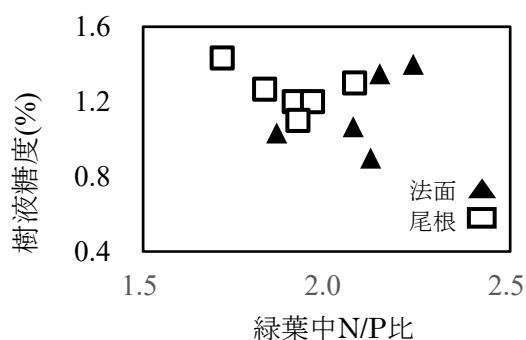


図6. 葉中N/P比と樹液糖度との関係  
Fig. 6 Relationship between foliar N/P ratio and sap sugar concentration

#### IV まとめ

本研究でウリハダカエデの樹液糖度は、肥大成長が良好な環境、窒素とリンの葉からの転流濃度差が正の影響を受けることが分かった。また、本調査地の土壌純窒素無機化速度は全国の森林の平均値より大きく、樹液糖度の高い対象木で土壌有効態リン含有率が高く、葉の転流量は窒素よりリンが大きいので、窒素供給が潤沢である本調査地において、リンの影響が顕著になる可能性が示唆された。今後、樹液糖度だけでなく、転流のパターンと土壌養分の間を探ることで、樹木の養分保持戦略が見えてくる可能性がある。

#### 引用文献

- (1) Wild AD, Yanai RD (2014) Soil nutrients affect sweetness of sugar maple sap. *Forest Ecology and Management* 341: 30-36
- (2) 荒谷健一郎・戸田浩人・生原喜久雄 (2009) 褐色森林土壌における斜面位置別のリンの形態別定量, (森林植生へのリン供給における森林土壌の有機態リンと微生物の役割, 代表戸田浩人 76pp, 基盤研究 (C) 研究報告書)
- (3) Duchesne L, Houle D, Cote MA, Logan T (2009) Modelling the effect of climate on maple syrup production in Quebec, Canada. *Forest Ecology and Management* 258: 2683-2689
- (4) Moreselli M, Marvin JW (1978) Image-analyzing computer in plant science: more and larger vascular rays in sugar maples of high sap and sugar yield. *Canadian Journal of Botany* 56(8): 983-986
- (5) Moore JD, Duchesne L, Ouimet R, Deschenes ML (2020) Liming improves sap characteristics of sugar maple over the long term. *Forest Ecology and Management* 464: 118044
- (6) Taylor FH (1956) Variation in sugar content of maple sap. *Bull Vermont Agriculture Expt Sta* 587: 1-39
- (7) Wong BL, Baggett KL, Rye AH (2003) Seasonal patterns of reserve and soluble carbohydrates in mature sugar maple (*Acer saccharum*). *Canadian Journal of Botany* 81: 780-788
- (8) Urakawa R, Ohte N, Shibata H, Isobe K, Tateno R, Oda T, Hishi T, Fukushima K, Inagaki Y, Hirai K, Oyanagi N, Nakata M, Toda H, Tnanaka K, Kuroiwa M, Watanabe T, Fukuzawa K, Tokuchi N, Kotani A (2016) Factors contributing to soil nitrogen mineralization and nitrification rates of forest soils in the Japanese archipelago. *Forest Ecology and Management* 361: 382-396