

## 津波被害を受けた海岸マツ生残木の樹勢判定 — 樹液流測器の実用性の検討 —

橋本 良二\*・齋藤 武史\*\*

Evaluation of tree vigorousness for coast pines survived from the tsunami damage  
— Examination for utility of a sap flow meter —

Ryoji HASHIMOTO\* and Takeshi SAITOU\*\*

### 1. はじめに

東日本大震災で、東北地方太平洋側の海岸林は大津波による物理的破壊や塩害で壊滅的な被害を受け、岩手県では県有防潮林（潮害防備保安林）150haの80%以上が壊滅した（村井，2012）。しかし，津波被害を受けながらも，アカマツやクロマツなどの立木がさまざまな規模で相当数まともに残っているところが少なくない。被災海岸林の再生は，全面人工植栽によりなされると見られるが，生残木のうち一定の環境保全機能が期待されるものについては伐らずに残すのが適当であろう。こうしたことから，生残木について，樹冠部枝葉の着生状態や葉色，また樹幹穿孔処理にともなう樹脂滲出量を通して，樹勢調査がおこなわれているが，“健全木”と“瀕死木”の間に衰退程度の異なる“中間木”が存在し（高橋・星野，2012），今後の取扱いについて判断しがたいケースが多々生じている。

樹木の生理活動が何らかの理由で低下する場合，そこでは葉群のガス交換が抑制され，光合成とともに蒸散の低下が起きている（Kramer and Kozlowski, 1979）。蒸散量の低下は根の吸水量の低下と連動し，樹体木部組織における水輸送の低下をともなうことから，樹幹における樹液流の測定を通して，樹木の生理状態の判定が可能である。しかし，樹液流の測定は，計器類の設置に手間がかかり，そもそも短期間に多くの立木を調査するような用途には向かない面がある。樹液流の測定は，古くから木部通水組織における熱パルスの移動を測定・解析する方

Received March 11, 2013

Accepted May 13, 2013

\* 岩手大学環境科学系（農学部共生環境課程）

\*\* 森林総合研究所東北支所

法でおこなわれているが (Swanson, 1994; Lu et al., 2004), ヒーターエレメントや温度プローブを木部組織に挿入しておこなうことから, 組織における傷の発生癒合, 樹脂の滲出・固化などが理由で, 設置後数日は測定値が不安定で, 信頼できる測定値を得るのに相当日数を要するとされている。

最近, 温度上昇率法 (HRM) を採用した樹液流計測器 (SFM-1, ICT Inc., Australia) が市販され使用されているが (竹内ら, 2012), 本器は従来の測器に比べて, ヒーターエレメントや温度プローブの小径化がなされている。こうした小径化は, 組織に対するダメージを軽減することから, 設置後早い段階で信頼できる測定値が得られる可能性がある。本研究では, 本器設置後即日あるいは1両日程度で樹液流の測定ができるかどうかについて検討した。また, 樹液流が低下する夜間の低速度値に注目し, 夜間における水分生理過程の分析に使用できるかどうかについて検討した。

## II. 測定木と測定方法

### 1. 測定木

大津波は岩手県北部の久慈市大湊地区の防潮林においても壊滅的な被害をもたらしたが, 2012年7月現在, 夏井川河口東岸部には十本から数十本単位で数か所にクロマツ立木が残っている。これら残存立木については, 目視で, 枯死してしまったものや樹勢衰退の顕著なものが見られるが, 樹幹部に樹皮剥離の被害を受けながらも, 生存しているものが少なくない。2012年9月, 樹勢のちがいを考慮して4本の生立木を選び, 測定木とした。測定木の胸高直径と樹高は, それぞれ35~50cm, 樹高16~19mの範囲であった。この地区のクロマツ林は県有保安林としてあり, 戦後間もなく造成されたもので, 林齢はおよそ70年と推定される。

### 2. 測定方法

#### 1) 樹液流測器

樹液流の測定は, HRM法を採用した樹液流測器 (SFM-1, ICT Inc., Australia) を用いておこなった。測定は熱パルスが発生するヒーターエレメントと2本の温度測定プローブを挿入しておこなうが, HRM法ではヒーターエレメントを真中にして, 樹液流の上流側と下流側にそれぞれ等距離に温度プローブを配列する (図-1)。熱パルス発生後の温度上昇を測定し, 以下の式で熱パルス流速 ( $V_h$ ,  $\text{cm h}^{-1}$ ) を求める (Marshall, 1958)。

$$V_h = k/x \ln (v_1/v_2) 3600$$

上式で,  $k$ は生材の熱拡散係数 ( $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ ),  $x$ はヒーターと各温度プローブとの距離 (cm),

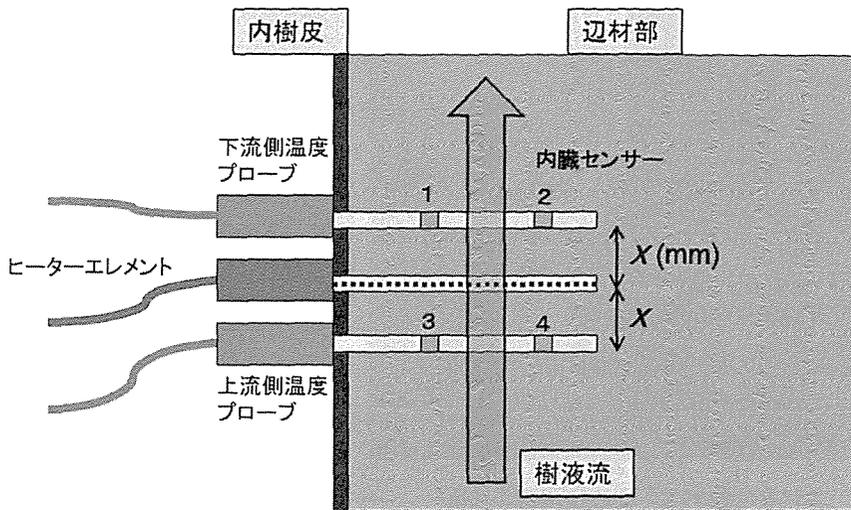


図-1 温度上昇率法 (HRM) による樹液流の測定  
根系から枝葉に向かう流れで枝葉側が下流，根系側が上流。

$v_1$ と $v_2$ はそれぞれ下流側と上流側の温度上昇速度 ( $^{\circ}\text{C s}^{-1}$ ) である。樹液流速度 ( $V_s$ ,  $\text{cm h}^{-1}$ ) は、ヒーターエレメントや温度プローブの挿入によりもたらされる樹液流阻害ファクターを考慮し (Burgess et al. 2001), 生材における組織要素と水分のそれぞれの構成比率と比熱容量から一定の関係式より導かれる (Barrett et al. 1995)。

本測器で用いているヒーターエレメントと温度プローブの直径と長さは、それぞれ1.3mm, 35mmである。温度プローブのシリンダー内には、ベース位置から12.5mm, 27.5mmの位置にサーミスターが内臓されており、材組織の外側と内側の2点で樹液流の測定がなされる。測定の流れは、ヒーターエレメントでの熱パルス発生から始まり、温度プローブでの温度測定、温度データの解析と記録へと進むが、これらの動作は一定の時間間隔で繰り返され、すべて測器本体でコンピューター制御されている。

## 2) 設置

2012年9月3日、各測定木について胸高部位1ヶ所にヒーターエレメントと温度プローブを挿入し、測器本体を脇に置いた (図-2)。ヒーターエレメントと温度プローブの挿入では、外樹皮はすべて、内樹皮は4mmほど残して剥ぎ取り、樹心に向かって樹幹軸に直角に案内孔を電動ドリルを使って設けた。

測定は30分間隔とし、外部バッテリー (市販の自動車用) により電力を供給した。設置後、バッテリー電圧の低下やバッテリー端子近傍での電気回路のショートなどのトラブルがあり、10月22日に再設置した。本研究資料では、測定結果は、1本の測定木で得られた、材組織外側位置でのもので代表させた。本測定木は、目視による樹勢判定で上位に区分された。また、天候面の理由から、10月22日の再設置にともなう測定結果を用いた。



図-2 樹液流測器の設置

左図：現地クロマツ立木への設置。

右図：ヒーターエレメントと温度プローブの配列と材組織への挿入。

## 2. 気象観測

測定木近くの開地で、2012年7月から、地上1.6mの高さで気温、相対湿度、全天日射量の測定をおこなった。全天日射量は日射計 (PCM-01(L), (株)プリード, 福生) を用いて10分間隔で、気温と相対湿度は温湿度測定器 (TR-72, (株)ティアンドディ, 松本) を用いて60分間隔で測定しデータを記録した。

## III. 結 果

### 1. 樹液流速の日変化

晴天日における樹液流速 ( $V_s$ ,  $\text{cm h}^{-1}$ ) の日変化の一例を、全天日射量および大気飽差との対応で図-3に示す。樹液流速は、日の出前の安定した低値から日の出とともに上昇し南中時にピークに達し、午後は日没に向かって緩やかに低下した。低下は日没後も続き、深夜に至り収束した。樹液流速の日変化は、一見して全天日射量の日変化に追従しているように見えるが、午後の緩やかな低下に注目すると、むしろ大気飽差によく追従するようであった。

### 2. 樹液流速と大気飽差との関係

測器設置後各日の昼間の樹液流速の時刻変化について、大気飽差との関係で見たのが図-4である。設置後いずれの日においても、樹液流速と大気飽差との関係は一次式でよく回帰された。樹液流速は、高大気飽差域で、設置後0日と2日で大きく、4日と7日で小さかった。これらの結果を受け、一次回帰式の回帰係数は設置後0日と2日で大きく、4日と7日で小さかった。

夜間の樹液流速は深夜から明け方にかけて安定すると見られたので(図-3), 午前0時から4時までの測定結果を用い, 測器設置後各日の夜間の安定樹液流速速度について, 大気飽差との関係を見たのが図-5である。大気飽差の増大にともない, 樹液流速は0.3 hPa付近で上昇が起り, その後は一定の上昇を示すようであった。この上昇程度は, 昼間の上昇程度と比べ緩やかであった。同じ大気飽差の下で比較すると, 樹液流速は10月23日では10月28日や29日より高かった。

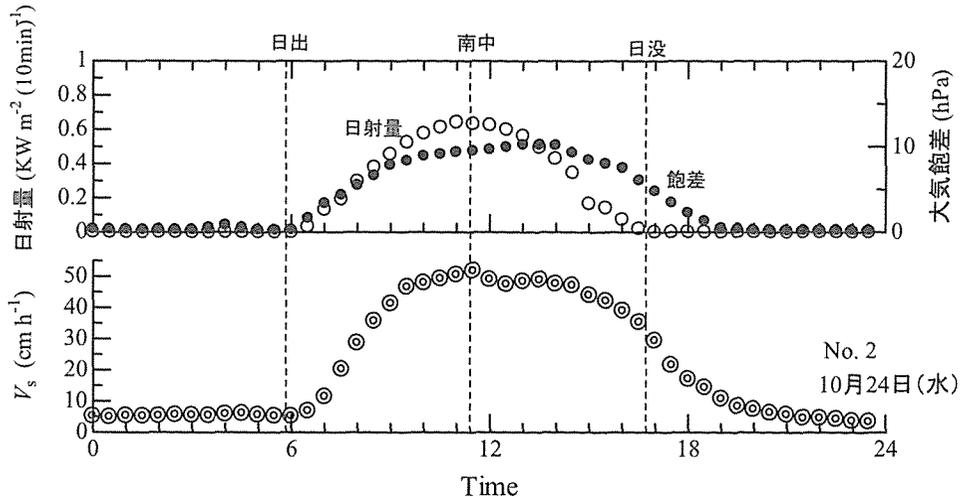


図-3 樹液流速の日変化の一例

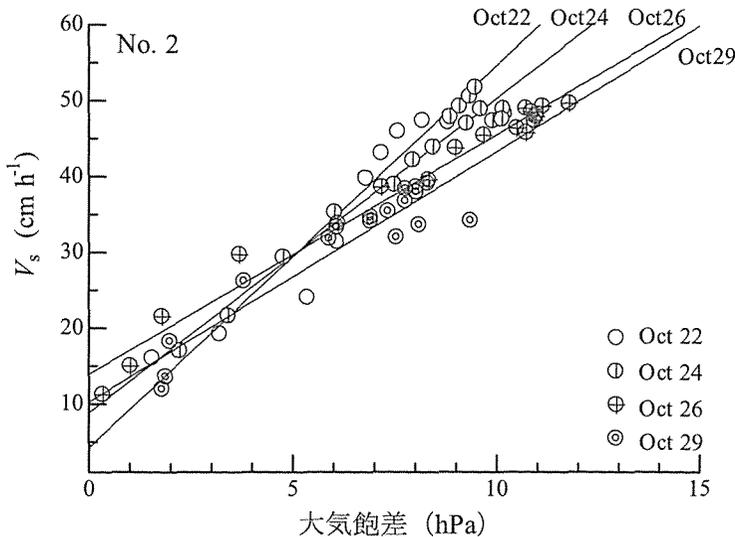
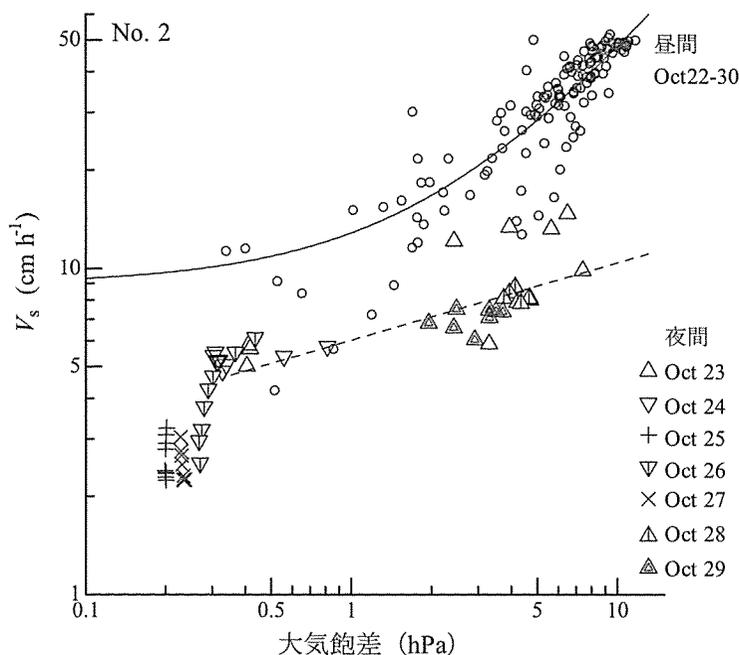


図-4 測器設置後各日の昼間の樹液流速と大気飽差との関係

測器は10月22日に設置。樹液流速は10時から17時までの測定で得られたもの。図中の直線は回帰式( $y=a+bx$ )による。10月22日： $a=4.22$ ,  $b=5.04$ ,  $r=0.956^{**}$ , 10月24日： $a=8.84$ ,  $b=4.14$ ,  $r=0.980^{**}$ , 10月26日： $a=13.9$ ,  $b=3.16$ ,  $r=0.988^{**}$ , 10月29日： $a=10.24$ ,  $b=3.30$ ,  $r=0.938^{**}$  (\*\*: $p<0.01$ )。



図一五 測器設置後各日の夜間の樹液流速

測器は10月22日に設置。樹液流速は夜間は深夜0時から4時、昼間は10時から17時の間に測定されたもの。図中の実線は回帰式 ( $y=a+bx$ ) による。 $a=8.94$ ,  $b=3.88$ ,  $r=0.889^{**}$  (\*\*:  $p<0.01$ )。破線はフリーハンドによる。

## IV. 考 察

### 1. 樹液流測器の実用性

樹液流速と大気飽差との関係式で、測器設置後、日が経つにつれ回帰係数は低下した(図一4)。回帰係数の低下は、高大気飽差域での速度値の低下からきており、ヒーターエレメントやプローブの挿入がもたらす当該部近傍での樹液流阻害、あるいは傷害反応にもとづく熱伝導性の変化などが原因と推測される。このように、設置後、日が経つにつれて関係式は変化するが、設置後0日で既に大気飽差との間に良好な直線関係が成立しており、その関係式は設置後2日とあまりちがいはなく、加えて設置後間もない測定結果は真値に近いと考えられる。すなわち、設置後直ぐに、また少なくとも2日程度は真値を与えていると見られることから、本樹液流測器を用いての樹勢判定は十分実用的である。樹液流速は大気飽差に強く依存するため、ある大気飽差範囲をカバーする測定時間が必要であることを考え合わせると、設置後1両日の測定が实际的であろう。

## 2. 夜間の速度値

樹液流速は日没後もかなりの時間あるレベル以上の速度を示すことからわかるように(図-3), 夜間は昼間に生じた樹体の水不足を回復するための樹液流があり, 樹体の水不足がそれほど厳しくなければ, 深夜に向かって低値に収束する(Kramer and Kozlowski, 1979)。このように, 夜間における樹液流速は重要な生理的意味をもっているが,  $10\text{cm h}^{-1}$ 以下の低値をとるため, これまで測定精度の制約からほとんど検討されていない。本樹液流動器は,  $10\text{cm h}^{-1}$ 以下の低速度状態の下でも, 大気飽差の増大に見合った速度上昇をとらえており, その上昇程度についても昼間のそれと比較して低く一定の合理性がうかがえることから, 夜間における水分生理の解析に使用できる可能性がある。

## 引用文献

- Barrett, D.J., Hatton, T.J., Ash, J.E. and Ball, M.C. (1995) Evaluation of the heat pulse velocity technique for measurement of sap flow in rainforest and eucalypt forest species of south-eastern Australia. *Plant Cell Environment* 18: 463-469.
- Burgess, S.S.O., Adams, M.A., Turner, N.C., Beverly, C.R., Ong, C.K., Khan, A.A.H. and Bleby, T.M. (2001) An improved heat pulse method to measure low and reverse rates of sapflow in woody plants. *Tree Physiology* 21: 589-598.
- Kramer, P.J. and Kozlowski, T.T. (1979) *Physiology of Woody Plants*. 811pp. Academic Press, Inc., Florida.
- Lu, P., Urban, L. and Zhao, P. (2004) Granier's thermal dissipation probe (TDP) method for measuring sap flow in trees: Theory and Practice. *Acta Botanica Sinica* 46: 631-646.
- Marshall, D.C. (1958) Measurement of sap flow in conifers by heat transport. *Plant Physiology* 33: 385-396.
- 村井 宏 (2012) 被災地域の海岸林の概況調査結果 (平成23年度東日本大震災による岩手県内海岸林の津波被災状況と再生についての調査研究. 村井 宏ほか編, 森と緑の研究所, 盛岡), 2-6.
- Swanson, R.H. (1994) Significant historical developments in thermal methods for measuring sap flow in trees. *Agricultural and Forest Meteorology* 72: 113-132.
- 高橋大等・星野大介 (2012) 各調査地区の被災林分の林況と衰退度 (東日本大震災による岩手県内海岸林の津波被災状況と再生についての調査研究. 村井 宏ほか編, 森と緑の研究所, 盛岡), 69-113.
- 竹内真一・森田康平・岸本宗也・篠崎圭太郎 (2012) タイサンボク (*Magnolia grandiflora* L.) の移植作業に伴う樹液流動について. *日本緑化工学会誌* 38: 27-32.