

丹沢山地におけるブナ樹液流計測による 蒸散と環境要因に関する検討

相原敬次*・越地 正*・谷脇 徹*・山根正伸*・

武田麻由子**・田淵尚一***・清水英幸****

Relationships between transpiration and environmental factors in a Japanese beech (*Fagus crenata*) in the Tanzawa Mountains revealed by a sapflow-measurment system

Keiji AIHARA*, Masashi KOSHIJI*, Tooru TANIWAKI*, Masanobu YAMANE*,
Mayuko TAKEDA**, Shoichi TABUCHI*** and Hideyuki SHIMIZU****

要 旨

相原敬次・越地 正・谷脇 徹・山根正伸・武田麻由子・田淵尚一・清水英幸：丹沢山地におけるブナ樹液流計測による蒸散と環境要因に関する検討 神奈川県自環保セ報告9:61-72, 2012

丹沢山地に生育するブナの衰退に関わる水分ストレスと環境の関係を検討する目的で、ブナ衰退地である檜洞丸および対照地点とした平塚におけるブナ着葉期の樹液流と環境要因を計測し、両者の関係を検討した結果、以下が明らかになった。樹液流速は夜間に遅く、昼間に速いという蒸散と連動した周期性が認められ、ブナ着葉期の蒸散の日周期を反映することを確認した。檜洞丸における夜間の樹液流速は平塚に比較して速く、とりわけ衰退木では、昼間の1割を越える過剰な蒸散量が夜間に算出され、水収支の不均衡による水分ストレスが生じているものと考えられた。檜洞丸のブナでは夜間の樹液流速が高くなる場合は、蒸散がより促進される環境になっていることから、気孔調節機能の低下が考えられ、この要因として以前から影響が懸念されてきている丹沢山地に特異的な光化学オゾンとの関わりが示唆された。

I はじめに

神奈川県の丹沢山地におけるブナ林の衰退要因として、大気汚染(オゾン)、水分ストレスおよび虫害(ブナハバチ)が指摘されている(山根ら, 2007)。しかし、これらの要因がどのように関与してブナを衰退させ枯死にまで至らせるかという生理的な機構については未だ明らかにされていない。

ブナ林の衰退機構の解明にはサイトスケールにおける水分ストレスや林分環境の樹木生理的な知見が必要であり(山根ら, 2009)、とりわけ個体レベルでの蒸散機能と環境との関係を明らかにすることは現在も進行しつつある枯死の防止対策上から急務の課題である。

ブナの枯死への過程をみると、前年の秋に形成された冬芽が翌年になっても展葉しないか、展葉して

* 神奈川県自然環境保全センター研究企画部研究連携課 (〒243-0121 神奈川県厚木市七沢 657)

** 神奈川県環境科学センター (〒254-0014 神奈川県平塚市四之宮 1-3-39)

*** (株)ウイジン (〒158-0097 東京都世田谷区用賀 2-12-14)

**** 国立環境研究所 (〒305-8505 茨城県つくば市小野川 16-2)

も葉が萎凋し枯れていく状況がしばしば観察される。これは、種々の環境要因によって個体の正常な生育に見合わない水分吸収の低下や過剰な蒸散、すなわち水分ストレス状態が不可逆的に進行し、ブナを衰退から枯死に至らせているものと考えられる。

植物（樹木）の蒸散は、種々の栄養塩類とともに根系から吸収された水分が樹幹を経て葉に到達し主に気孔から蒸発する生理機能で、気温、湿度、日射、大気飽差などの環境要因によって時々刻々変化する。蒸散の定量的な計測方法には、目的や対象個体によっていくつかの方法が知られている。例えば、草本類や個葉レベルあるいはポット植え等の個体では同化箱法や重量法などが用いられる（松尾ら，2009；藤沼ら，1988）。また個体レベルでは植物体内の樹液の移動流を蒸散とみなして計測する樹液流法がある（桜谷，1988；熊谷，2007）。蒸発を含む森林など地域レベルの蒸発散の計測には微気象学的方法がある（小松，2007）。

ブナの衰退や枯死のメカニズム解明の観点から個体レベルの蒸散計測が必要となる。樹液流は蒸散と全く等しい訳では無いが、高い相関を持つことがわかっている（熊谷，2007）。そこで、今回筆者らはブナの衰退が顕著な丹沢山地において、単木レベルでの蒸散に伴う水分ストレスと環境の関係を明らかにする目的から、樹液流法によって時系列的な蒸散状況を把握するとともに、同時に計測した環境要因との関係について検討を加えた。

Ⅱ 方 法

1 計測地点、個体および期間

図1に示す丹沢山地の檜洞丸（標高1601m）の山頂直下南面のブナの衰退が顕著な地点（檜洞丸）と対照地点として神奈川県平塚市（標高20m）の県環境科学センター圃場内（平塚）を選定し、それぞれ異なる年度に計測機器を移設、計測した。

計測個体は平塚および檜洞丸とも、それぞれ3個体実施したが、平塚においては計測機器のトラブルにより1個体のみの計測となった。計測個体は表1に示すように、平塚は樹齢が7年でDBHが8cmである。また檜洞丸は樹齢（推定）が120年から200年で、DBHはNo.1が35.5cm、No.2が45.9cmおよびNo.

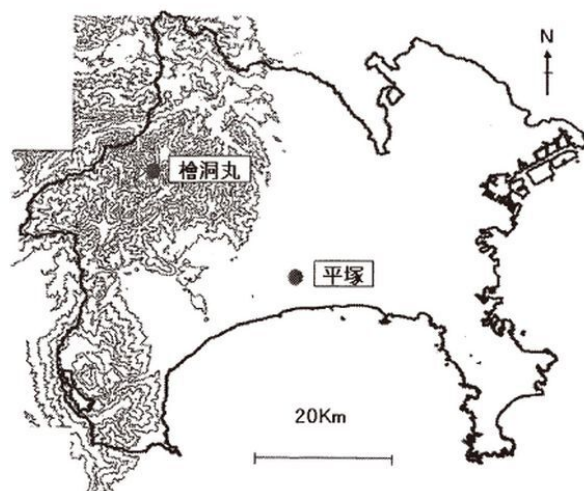


図1 計測地点

表1 計測個体の状況

計測個体	樹齢 (年)	DBH (cm)	辺材面積 (cm ²)	目視による 衰退状況
平塚	6～8	8	48	なし
檜洞丸No.1	120 (推定)	35.5	659	なし
檜洞丸No.2	140 (推定)	45.9	1014	なし
檜洞丸No.3	200 (推定)	67.5	1840	進行

3が67.5cmである。辺材面積については、各個体、2方向からの生長錐コア試料を採取し水分状況を判別して算出した。目視観察による衰退状況は、写真1に示すように檜洞丸のNo.3の個体が他の2個体に比較して進行している状況が認められた。

計測は、ブナ着葉期で、かつ電源等のトラブルのない期間を選定した。すなわち、平塚が2007年6月1日（午前0時）から8月8日（午後11時）の69日間（1656時間）および檜洞丸が2009年6月11日（午前0時）から8月31日（午後11時）までの82日間（1968時間）を計測期間とした。

2 樹液流の計測方法

樹液流法による蒸散計測には、ヒートパルス法、茎熱収支法などがあり、樹木の個体レベルの蒸散状況を検討する方法として用いられている（上田ら，1994）。今回は、ヒートパルス法の改良型であるGranier（グラニエ）法（Granier，1987；飯田ら，2003；藤山ら，2005；熊谷，2007）を用いた。グラニエ法は樹木辺材部に上下15cmの間隔をあけて埋め込ん



写真1 計測個体の外観

だヒーターセンサーとリファレンスセンサー間の温度差 (ΔT) から樹液流速を算出する方法で、ヒーターセンサーに与える熱が微量であるため、消費電力も少なく長期間の測定による樹木への影響を低く抑えることができるのが特長である。蒸散に伴って樹液流速が速くなる昼間の時間帯の場合は ΔT が小さく、樹液流速が小さくなる夜間の場合は ΔT が大きくなる。計測値は5分単位でデータロガーにサンプリングし、時間平均の ΔT を樹液流速の算出に用いた。樹液流速をゼロとみなす ΔT の最大値 ($\Delta T_{\max}$) は一日 (午前0時から午後11時まで) の最大値を用い、算出は(1)式 (藤山ら2005) に従った。樹液流センサーはクリマテック (株) 製の CUP-SPF-M型を用い、センサー深度は20mmで計測した。立石ら (2008) は DBH が 40 cm のブナの樹液流速

度は辺材深度が 2 cm までが最大で深度につれて減少し 14 cm の深さまで存在しているとしており、ブナ樹幹内の水の動態はスギ、ヒノキ等の樹木とは異にしていることも考えられる。今回の樹液流計測ではブナ辺材部における樹液流速を代表値と見なし、日蒸散量 (l/day) を (2) 式により算出した。写真2に檜洞丸におけるブナ衰退と計測状況を示す。

$$\text{樹液流速 (cm/h)} = 1.19 \times K^{1.231} \times 10^{-2} \times 60 \times 60 \quad \dots (1)$$

$$K = (\Delta T_{\max} - \Delta T) / \Delta T$$

日蒸散量 (l/day)

$$= u \text{ (cm/h)} \times \text{辺材部面積 (cm}^2\text{)} \times h \times 10^{-3} \quad \dots (2)$$

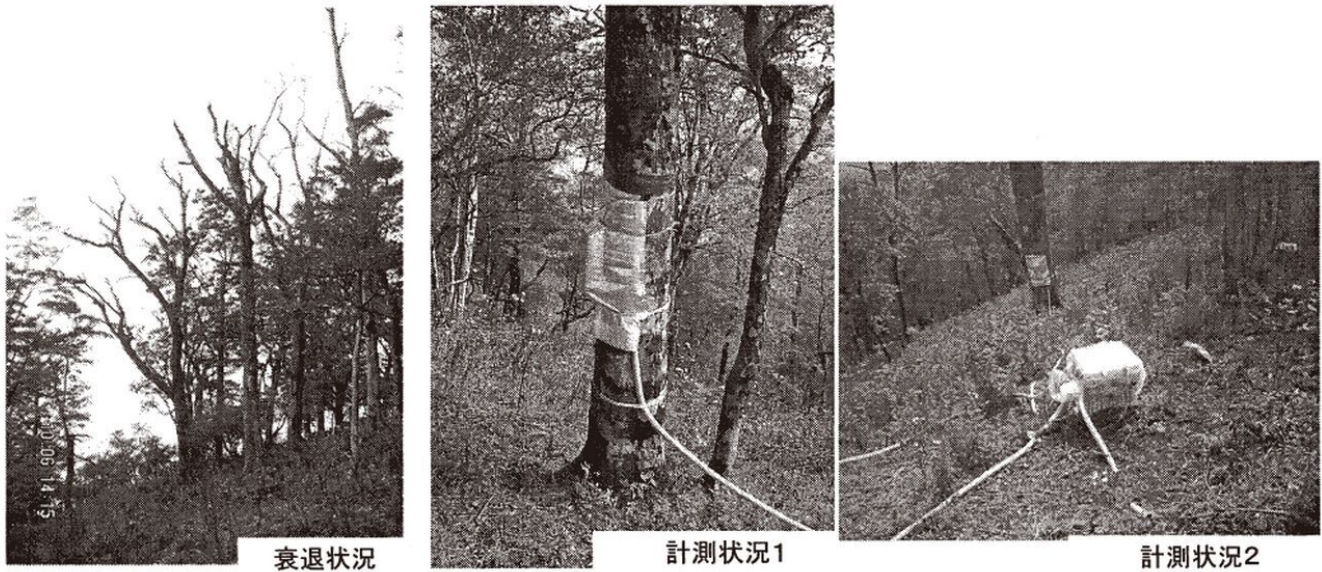


写真2 檜洞丸におけるブナ衰退と計測状況

u : 樹液流速の平均値 (全日、昼間、夜間)

h : 時間 (全日は24時間、昼間は15時間、
夜間は9時間)

3 環境要因の計測

計測する環境要因は気温、湿度、風向、風速および全天日射量とした。また気温および湿度の値から大気飽差を算出した。さらにブナの生育に影響があるとされる大気汚染物質として、光化学オゾン濃度(オゾン濃度)についても併せて計測し、いずれも時間平均値として用いた。なお、檜洞丸の気温および湿度については檜洞丸から北西方向に約2km離れた県大気汚染測定局犬越路(標高900m)の計測結果を用いた。

III 結 果

1 樹液流速の計測結果と蒸散量

計測期間内の樹液流速の計測結果は図2に示すように、連続的に上昇と下降を繰り返す変化を示した。時刻別の平均値としての樹液流速は図3に示すように、夜間は低く推移し、午前6時(06:00)頃から上昇し始め、日中の正午前後に極大値となった。その後は徐々に低下し、午後8時(20:00)以降は早朝まで再び低く推移する日変動を示した。檜洞丸における3個体間の時間値を散布図として図4

に示す。3個体間の樹液流速は単相関関係も強く、時系列的に同期して推移していることが確認された。

樹液流速の集計結果を表2に示す。なお昼間および夜間の時間帯は、全天日射量の計測結果を基準にして、昼間を午前5時から午後7時の15時間に、夜間を午後8時から翌日の午前4時までの9時間とした。樹液流速の最大値はいずれの個体とも昼間に計測されており、平塚が17.2 cm/h、檜洞丸ではNo.1が26.8 cm/hと最も高く、次いでNo.2の22.6 cm/h、No.3の16.0 cm/hと順に低くなった。樹液流速の夜間の最大値は平塚が2.2 cm/h、檜洞丸のNo.1が6.1 cm/h、No.2の5.6 cm/h、No.3の3.7 cm/hと夜間の檜洞丸では最大で6 cm/hを越える樹液流が存在することがわかった。また昼間に対する夜間の比(夜間/昼間)を比較しても、檜洞丸のブナでは平塚に比較して夜間に樹液がより多く流動している状況が認められ、とりわけNo.3の個体では顕著であることがわかった。

ブナ単木単位の推定蒸散量を表3に示す。その結果、全日の蒸散量は平塚で4.7 l/day、檜洞丸が58.9~84.5 l/dayとなった。檜洞丸では一日あたり夜間に4.2~9.2 lの水分が蒸散しており、夜間/昼間でみても檜洞丸のブナは平塚に比較して夜間の蒸散量が多いことが推定できた。

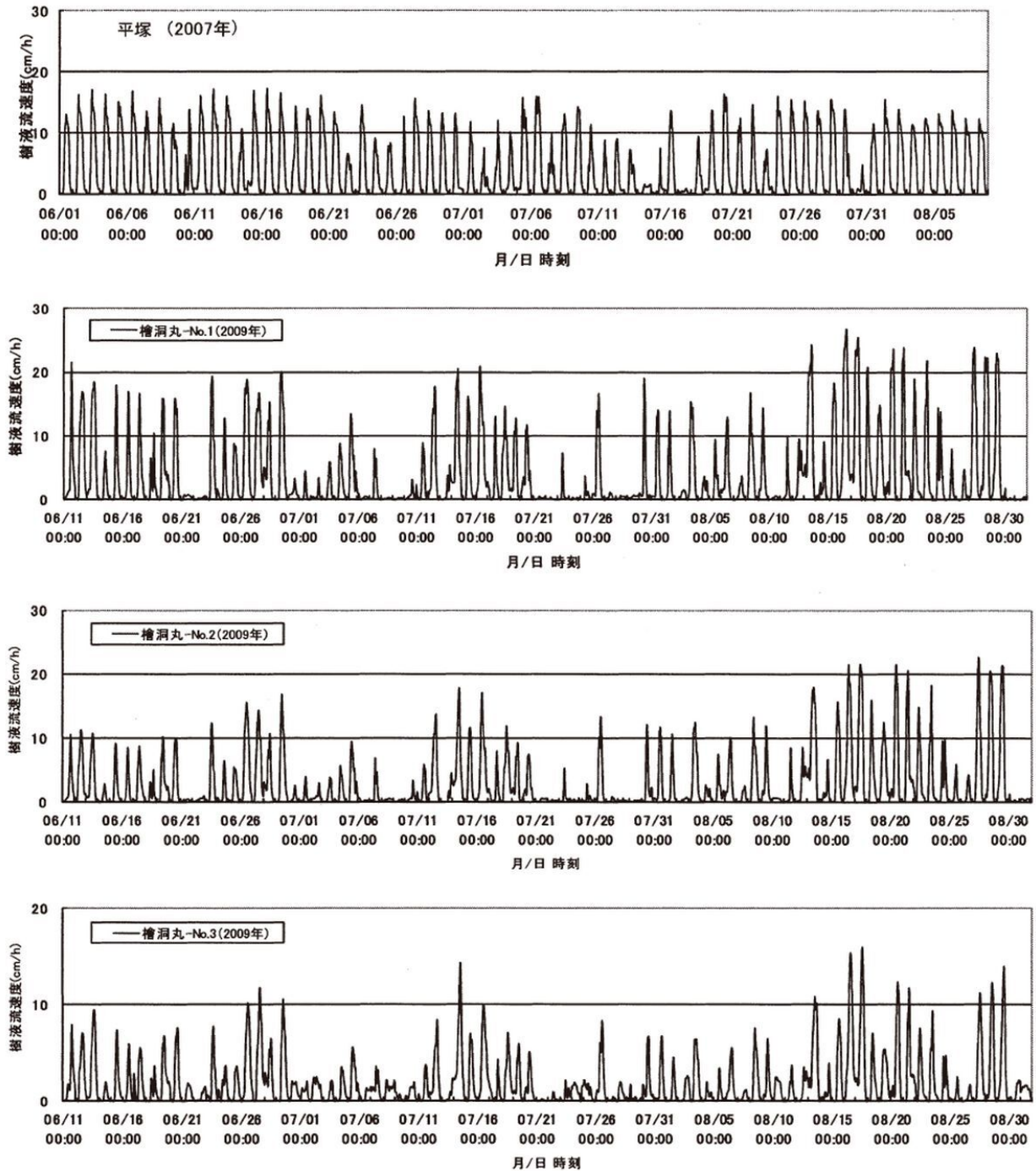


図2 樹液流速の計測結果

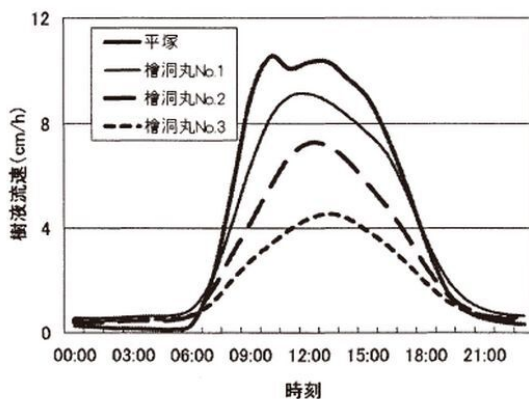


図3 樹液流速の時刻別の平均値

2 環境要因の計測結果

平塚および檜洞丸における環境要因の時刻平均値を図5に、また風向は風配図として図6に示す。檜洞丸は平塚に比較して全般に気温が低く、湿度が高く、大気飽差が低く、風速が高く、全天日射量が低い傾向を示した。またオゾン濃度は、時刻により高いか、同程度であった。経時的な変化は、気温、湿度、大気飽差および全天日射量については両地点ともほぼ同様な推移をするものの、風速、風向および

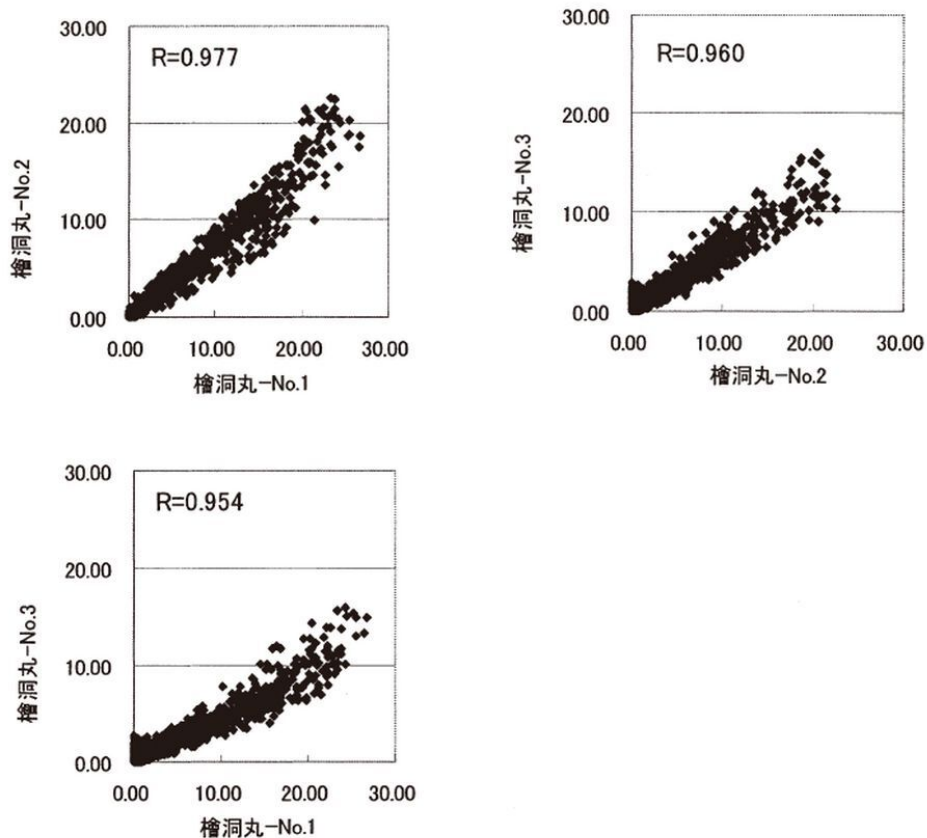


図4 檜洞丸における固体間の樹液流速の散布図と単相関係数(R)

表2 樹液流速の集計結果

単位 (cm /h)										
計測個体	全 日 (午前0時～午後11時)			昼 間 (午前5時～午後7時)			夜 間 (午後8時～午前4時)			平均値の比 (夜間 / 昼間)
	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	
平 塚	17.2	4.1	0.0	17.2	6.4	0.0	2.2	0.3	0.00	0.05
檜洞丸No.1	26.8	3.7	0.0	26.8	5.5	0.0	6.1	0.7	0.00	0.13
檜洞丸No.2	22.6	2.8	0.0	22.6	4.1	0.0	5.6	0.5	0.00	0.13
檜洞丸No.3	16.0	1.9	0.0	16.0	2.7	0.0	3.7	0.6	0.00	0.20

表3 ブナの推定蒸散量

計測個体	蒸散量 (l/day)			
	全 日 (24時間)	昼 間 (15時間)	夜 間 (9時間)	夜 間 / 昼間
平 塚	4.7	4.6	0.1	0.03
檜洞丸No.1	58.9	54.7	4.2	0.08
檜洞丸No.2	67.2	62.4	4.8	0.08
檜洞丸No.3	84.5	75.3	9.2	0.12

オゾン濃度については両地点で違いが認められた。すなわち風速が檜洞丸は平塚に比較して全日を通じて高く、無風時の割合も26.2%と、平塚の47.5%に対して少なかった。主風向は平塚が北東方向と南西方向であるのに対して、檜洞丸では北西方向と南東方向であった。オゾン濃度は平塚が昼間の午後に高くなる山型の濃度推移を示すのに対して、檜洞丸では午後から高くなりそのまま夜間も継続した。

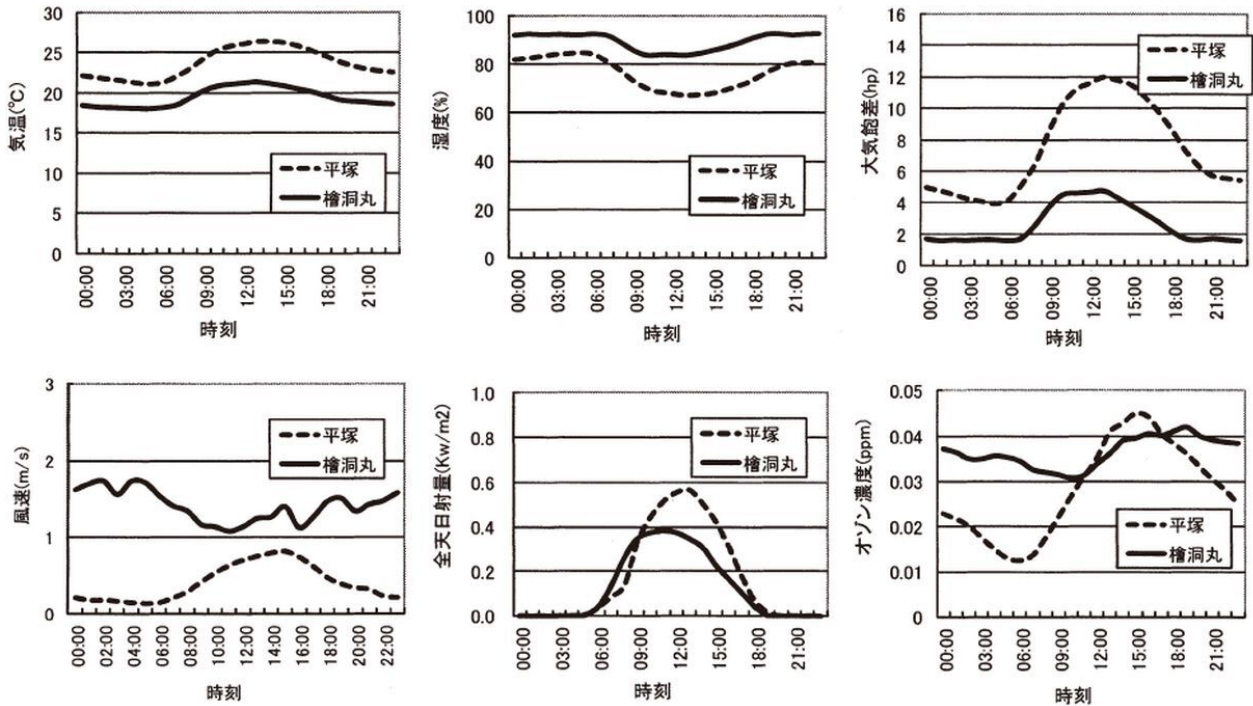


図5 平塚および檜洞丸における環境要因の時刻平均

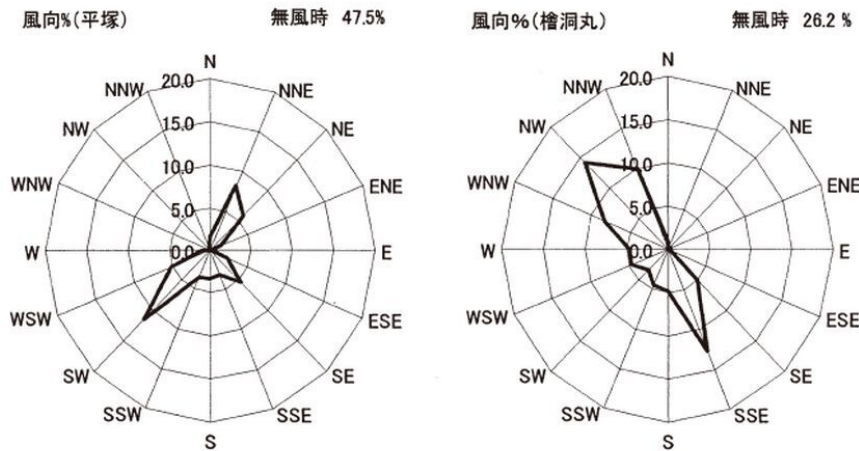


図6 平塚および檜洞丸における風配図

3 樹液流速が速い場合と遅い場合の環境要因の比較

樹液流速が速い場合、すなわち蒸散量が多くなるときの環境要因について検討するため、昼夜別、個体別に時間毎の樹液流速を基準にして、速い場合と遅い場合の環境要因を比較した。なお、樹液流速は時刻による変動が大きいため、昼は午前11時から午後1時までの3時間、夜は午後11時から午前1時までの3時間の計測結果を用いた。平塚は69日間の207時間、檜洞丸は82日間の246時間のうち、

樹液流速の速い、遅い順に平塚が42時間ずつ、また檜洞丸が50時間ずつの環境要因について比較した。樹液流速の速い場合と遅い場合の環境要因の比較結果について、昼の場合を表4に、夜の場合を表5に示す。また、風向については図7に風配図として示す。

昼の樹液流速が速い場合には遅い場合に比較して、両地点とも気温、大気飽差、全天日射量およびオゾン濃度については高く、湿度は低くなったが、風速については平塚で大きく、檜洞丸では小さかつ

表4 昼の樹液流速の速い場合と遅い場合の環境要因の比較※

時間数	樹液流速度 (cm/h)	気温 (°C)	湿度 (%)	大気飽差 (hPa)	全天日射量 (kw/m ²)	風速 (m/s)	オゾン濃度 (ppm)
平塚-昼							
42 (遅い)	3.6 ± 0.8	23.2 ± 0.6	84.3 ± 1.9	4.6 ± 0.6	0.15 ± 0.03	0.3 ± 0.1	0.016 ± 0.003
42 (速い)	14.0 ± 0.2 **	26.7 ± 0.7 **	58.1 ± 3.1 **	14.9 ± 1.4 **	0.80 ± 0.04 **	0.9 ± 0.1 **	0.047 ± 0.005 **
檜洞丸-昼 (No.1)							
50 (遅い)	0.3 ± 0.1	19.0 ± 0.5	95.8 ± 1.2	0.9 ± 0.3	0.17 ± 0.03	2.0 ± 0.3	0.027 ± 0.003
50 (速い)	20.2 ± 0.7 **	24.1 ± 0.7 **	66.3 ± 3.3 **	10.5 ± 1.2 **	0.70 ± 0.06 **	0.7 ± 0.2 **	0.046 ± 0.003 **
檜洞丸-昼 (No.2)							
50 (遅い)	0.3 ± 0.0	19.2 ± 0.5	95.5 ± 1.2	1.1 ± 0.3	0.17 ± 0.03	1.9 ± 0.3	0.025 ± 0.003
50 (速い)	17.3 ± 0.9 **	24.9 ± 0.6 **	65.2 ± 2.9 **	11.2 ± 1.1 **	0.66 ± 0.07 **	0.8 ± 0.2 **	0.046 ± 0.004 **
檜洞丸-昼 (No.3)							
50 (遅い)	0.3 ± 0.1	19.6 ± 0.5	93.3 ± 1.7	1.6 ± 0.4	0.16 ± 0.02	1.5 ± 0.3	0.025 ± 0.003
50 (速い)	10.3 ± 0.6 **	24.8 ± 0.6 **	64.1 ± 2.8 **	11.5 ± 1.1 **	0.70 ± 0.06 **	0.8 ± 0.2 **	0.048 ± 0.004 **

※午前11時から午後1時までの昼の樹液流速が速い場合と遅い場合の環境要因を比較し1% (**), 5% (*) で有意に差があることを示す。

値の土は平均値の95%信頼限度を示す。

表5 夜の樹液流速の速い場合と遅い場合の環境要因の比較※

時間数	樹液流速度 (cm/h)	気温 (°C)	湿度 (%)	大気飽差 (hPa)	全天日射量 (kw/m ²)	風速 (m/s)	オゾン濃度 (ppm)
平塚-夜							
42 (遅い)	0.0 ± 0.0	22.5 ± 0.7	83.3 ± 1.8	4.6 ± 0.6	0.00 ± 0.00	0.2 ± 0.1	0.021 ± 0.004
42 (速い)	0.8 ± 0.1 **	22.1 ± 0.8	80.9 ± 2.8	5.3 ± 0.9	0.00 ± 0.00	0.4 ± 0.1	0.023 ± 0.004
檜洞丸-夜 (No.1)							
50 (遅い)	0.0 ± 0.0	18.5 ± 0.6	92.5 ± 1.4	1.6 ± 0.3	0.00 ± 0.00	1.7 ± 0.4	0.036 ± 0.006
50 (速い)	2.2 ± 0.3 **	19.1 ± 0.5	87.0 ± 3.0 **	2.9 ± 0.7 **	0.00 ± 0.00	1.3 ± 0.3	0.046 ± 0.005 *
檜洞丸-夜 (No.2)							
50 (遅い)	0.0 ± 0.0	18.5 ± 0.7	93.4 ± 1.3	1.4 ± 0.3	0.00 ± 0.00	1.6 ± 0.4	0.033 ± 0.005
50 (速い)	1.6 ± 0.3 **	18.6 ± 0.6	86.7 ± 2.8 **	2.9 ± 0.6 **	0.00 ± 0.00	1.5 ± 0.4	0.049 ± 0.005 **
檜洞丸-夜 (No.3)							
50 (遅い)	0.0 ± 0.0	18.5 ± 0.6	93.6 ± 1.3	1.3 ± 0.2	0.00 ± 0.00	1.5 ± 0.4	0.035 ± 0.005
50 (速い)	1.7 ± 0.2 **	18.8 ± 0.6	90.1 ± 3.2 *	2.2 ± 0.7 *	0.00 ± 0.00	2.1 ± 0.4 *	0.039 ± 0.006

※午後11時から午前1時までの夜の樹液流速が速い場合と遅い場合の環境要因を比較し1% (**), 5% (*) で有意に差があることを示す。

値の土は平均値の95%信頼限度を示す。

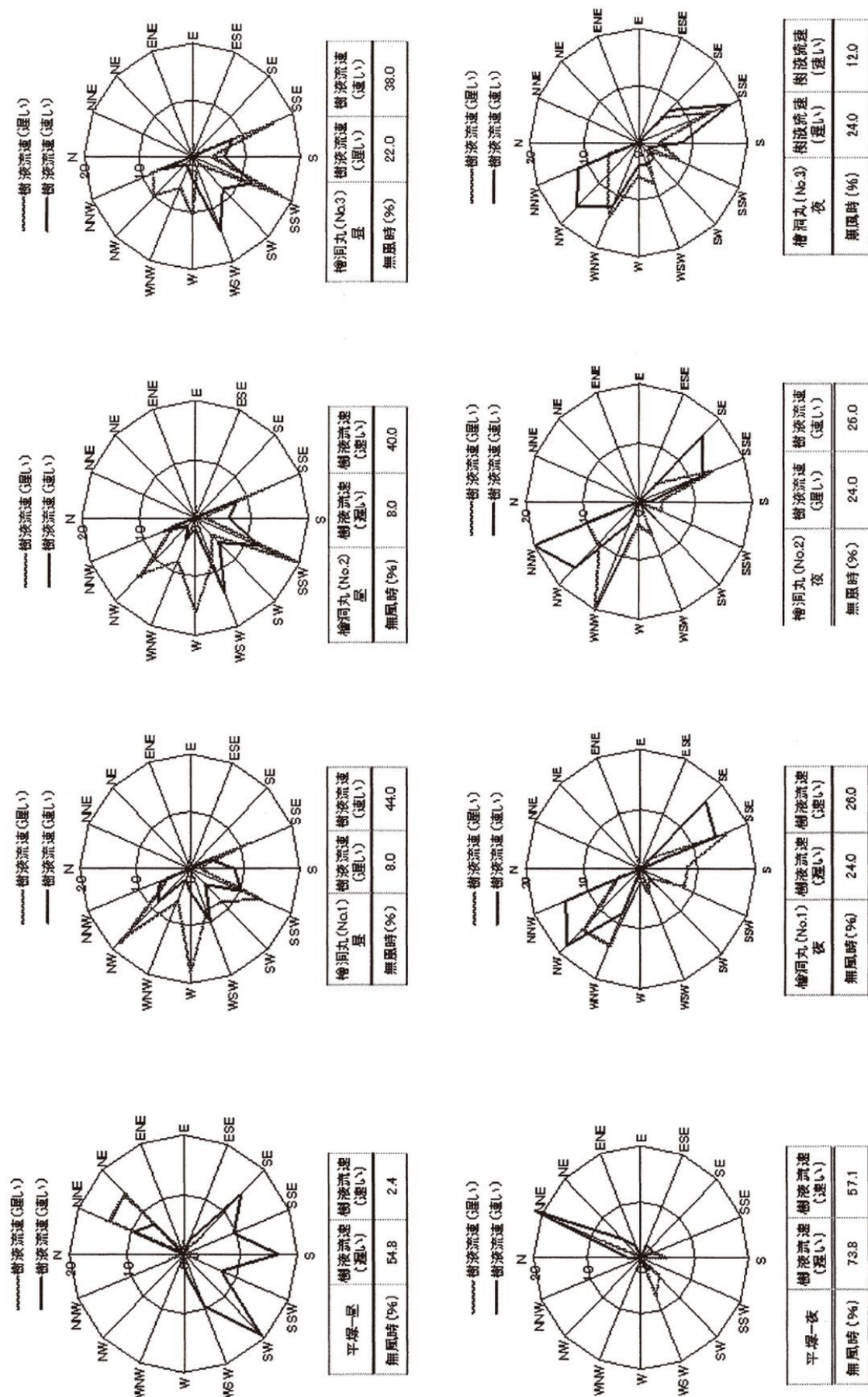


図7 樹液流速の違いによる風配図(風向頻度%)の比較

(星を午前11時から午後1時までとし、夜は午後11時から午前1時までとした)

た。風向については、平塚は南東から南西系方向の風が多く、檜洞丸では顕著な違いは認められなかった。無風時の割合は樹液流速度が速くなる場合は平塚では少なくなるが、檜洞丸では多くなることがわかった。

夜の樹液流速度が速い場合は、遅い場合に比較して平塚ではいずれの環境要因にも違いが認められないのに対して、檜洞丸では全個体で湿度が低く、大気飽差は高くなった。風速はNo.3の個体で大きくなり、オゾン濃度はNo.1とNo.2の個体で高かった。風向については、平塚は北北東の風が多くなるが、檜洞丸ではほとんど違いはなかった。無風時の割合は樹液流速度が速くなる場合は平塚では若干少なくなり、檜洞丸のNo.1とNo.2の個体では違いがみられないものの、No.3の個体では少なくなった。

IV 考 察

まず、樹液流計測を用いた手法の有効性を検討する。ブナ等広葉樹における樹液流速度の計測事例では、最大値として9 cm/hrから55 cm/hrの値が示されている(籠谷ら, 2009)。これらの値と比較して、今回の樹液流速度の計測結果は、ほぼこの範囲に入っていることが確認できる。グラニエ法を用いた計測方法によってブナの展葉開始時期、落葉期あるいは枝の切断による蒸散の変化の状況を樹液流速度で捉えられることが確認されている(相原ら, 2008)。さらに、夜間に低く、昼間に高くなる樹液流速度の周期性や檜洞丸の3個体間の同期性も確認されていることから、今回の樹液流速度の計測結果は、環境に応じた単木単位でのブナ着葉期の蒸散状況を反映したものと評価できる。

本来、夜間の蒸散は平塚のように極めて少ないと考えられているにもかかわらず、檜洞丸のブナでは昼間の1割を越える過剰な蒸散が試算され、個体毎の水収支の不均衡、すなわち水分ストレスが生じている。戸塚ら(1997)は檜洞丸でのブナ単葉の光合成測定から、衰退木(被害木)では夜間の蒸散速度や気孔コンダクタンスが健康な対照木に比較して高いことを認めており、今回の樹液流速度による計測結果からも同様なことが確認出来る。

樹液流速の変化に伴う蒸散の日周変動の違いには平塚と檜洞丸の環境要因の違いが反映されていると考えられる。すなわち、檜洞丸では、標高差により気温が低く湿度が高くなるため平塚に比較して大気飽差も低く、雲や霧の発生が多いため日射量も少ない傾向にある。また風についても檜洞丸では平塚に比較して、風速の変化が顕著であることが予想される。しかし、檜洞丸のオゾン濃度は、昼間は平塚と同程度であるものの、夜間になっても昼間と同程度か、それ以上の濃度が継続している状況が認められる。丹沢地域では檜洞丸に代表される高標高域における稜線地域の光化学オゾンは、しばしば市街地並の高濃度になり、しかもその濃度が夜間も引き続き継続する状況にあることがすでに確認されている(河野ら, 2007; 阿相ら, 2007)。今回の結果からも依然として丹沢地域の光化学オゾンによる特異的な大気汚染の状況は変わっていないものと考えられる。

一般的に植物の蒸散は、気温、大気飽差および日射の上昇とともに多くなることが知られている。実際、昼に樹液流速度が速い場合には、両地点とも気温、大気飽差および全天日射量とも高くなっている。風向に関しては平塚では南から西系が主風向で、檜洞丸では大きな違いは認められないが、風速は平塚と檜洞丸では逆の傾向がある。このことは風配図の無風時の割合とも一致しており、昼の蒸散は檜洞丸では風速が弱まる時に多くなることが推察されるが、この風速を除く環境要因が昼の蒸散に及ぼす影響は地点による差がないといえる。

一方、夜の樹液流速度が速い場合には、平塚では環境要因に差異は認められないのに対して、檜洞丸では湿度が低く、大気飽差が高い。さらに衰退が進行した個体では風速も高く、蒸散が促進される環境要因になっていることがわかる。このことは檜洞丸の個体では夜間の気孔制御が正常に機能していない状況(気孔調節機能の低下)になっていることが原因のひとつとして考えることができる。この被害木(衰退木)の気孔調節機能の低下について、戸塚ら(1997)はオゾンによる影響ではないかとしており、今回の環境要因の比較結果からもオゾン濃度が高くなっている状況と合致する。

ブナはオゾン曝露によって成長低下や早期落葉な

どの衰退は顕在化するが、硫黄酸化物曝露のような急性的に枯死までは至らないことがこれまでに知られている（伊豆田ら，1997；武田ら，2007）。植物は大気汚染ガスに対しては気孔閉鎖等の生理的防御機能が働いており、とりわけ気孔の開閉機構についても古くから多くの研究がなされている（近藤ら，1984）。例えば、葉面や気孔においては障害が現れる前にスーパーオキシドデスムターゼ（SOD）活性やアスコルビン酸量の低下による防御機能が破壊されることや、伊豆田ら（2006）は葉の生理機能に対するオゾンの影響として、一般的に植物は葉緑体の光合成活性が低下し気孔は閉鎖するが、ブナの場合には高濃度のオゾンに曝露後に光合成活性が低下することに加え気孔閉鎖もみられないとしている。今回、丹沢山地の野外計測結果は、気温、日射に左右されない夜間の場合に檜洞丸の2個体でオゾン濃度が高くなっていることに加え、丹沢山地に特異的な大気汚染状況があることから、ブナの気孔調節機能の低下に光化学オゾンが影響を及ぼしていることが示唆される。

V ま と め

丹沢山地に生育するブナの衰退要因としての水分ストレスと環境との関係を検討する目的で、対照地点とした平塚とブナ衰退地である檜洞丸において、ブナの着葉期の樹液流速と環境要因の計測を実施し、以下のことが明らかになった。

- ①樹液流速の計測結果は夜間に低く、昼間に高くなる周期性が認められ、個体間の同期性も確認されたことから、環境に応じた単木単位でのブナ着葉期の蒸散状況を反映していた。
- ②檜洞丸における夜間のブナの樹液流速は平塚に比較して高く、とりわけ衰退木では、昼間の1割を超える過剰な蒸散量が算出され、個体毎の水収支の不均衡、すなわち「水ストレス」が生じているものと考えられた。
- ③檜洞丸の環境を平塚と比較すると、気温は低く、湿度は高く、大気飽差は低く、風速は高く、日射量は少ない状況で、山地と平地に伴う環境要因の特徴が示されたが、大気汚染物質であるオゾン濃度については、夜間になっても昼間と同程度か、

それ以上の濃度が継続する特異的な状況が認められた。

- ④樹液流速の速い場合と遅い場合の環境要因を検討した結果、昼の場合は平塚、檜洞丸とも風速を除いて大きな違いは認められなかった。しかし、夜間の場合は平塚と異なり、檜洞丸のブナでは光化学オゾンによる影響と考えられる気孔調節機能の低下によって、蒸散が促進されやすい環境要因になっていることがわかった。

VI 引用文献

- 相原敬次・武田麻由子・越地 正・田淵尚一・清水英幸（2008）ブナ林衰退地域における総合植生モニタリング手法の開発－野外におけるブナ個体の蒸散および樹液流の計測－，平成20年度地方公共団体環境研究機関等と国立環境研究所との共同研究報告要旨。
- 阿相敏明・内山佳美・山根正伸・越地 正・相原敬次（2007）丹沢山地のブナ着葉期におけるオゾン濃度分布．丹沢大山総合学術調査報告書，396-399，神奈川県。
- 藤沼康実・古川昭雄（1988）植物の計測と診断，105-114，朝倉書店，東京。
- 藤山洋介・広瀬茂樹・大槻恭一・小川 滋（2005）Granier法による樹液流測定に基づくヒノキ林における蒸散量の推定－御手洗水試験流域における観測例－，九大演報，86，15-31。
- Granier, A. (1987) Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiology*, 3, 309-320.
- 飯田真一・小林義和・田中 正（2003）Granier法を用いた樹液流速の長期連続測定，水文，水資源学会誌16(1)，13-22。
- 伊豆田猛（2006）植物と環境ストレス，10-23，コロナ社，東京。
- 伊豆田猛・松村秀幸（1997）植物保護のための対流圏オゾンのクリティカルレベル，大気環境学会誌，32，A73-A81。
- 籠谷泰行・服部和佐・中畑里枝子・山尾 敬・福井佑介・宮本洋司・荻野和彦（2009）広葉樹の樹

- 液流速－樹種の違いと季節変化－，第56回日本生態学会，自由集会講演要旨。
- 河野吉久・須藤 仁・石井 孝・相原敬次・内山佳美（2007）丹沢山地周辺のオゾン濃度の実態とブナに対する影響，丹沢大山総合学術調査報告書，383-396，神奈川県。
- 小松 光（2007）森林水文学，131-147，森北出版，東京。
- 近藤矩朗（1984）大気汚染ガスに対する植物の防御機能，国立公害研究所研究報告，第64号，75-87。
- 熊谷朝臣（2007）森林水文学，110-130，森北出版，東京。
- 松尾奈緒子・三木直子・廣部 宗（2009）ガスチャンバー法（同化箱法）および重量法による個葉の蒸散特性の評価，低温科学67，137-142。
- 桜谷哲夫（1988）植物の計測と診断，114-118，朝倉書店，東京。
- 武田麻由子・相原敬次（2007）丹沢山地の大気中オゾンがブナ（*Fagus crenata*）苗に及ぼす影響，大気環境学会誌42(2)，107-117。
- 立石麻紀子・熊谷朝臣・陶山佳久・日浦 勉（2008）ブナの水利用様式の地理変異，第55回日本生態学会全国大会一般講演要旨p3-039。
- 戸塚 績・青木正敏・伊豆田猛・堀江勝年・志摩克（1997）ブナ衰退地と健全地の葉の生理活性，葉の特徴および葉内元素濃度比較とブナ衰退要因について，丹沢大山自然環境総合調査報告書，99-102，神奈川県。
- 上田正文・吉川 賢（1994）夏の無降雨期間がフウの樹液流速に与える影響，日林誌76，249-257。
- 山根正伸・相原敬次・鈴木 透・笹川裕史・原慶太郎・勝山輝男・河野吉久・山上 明（2007）ブナ林の再生に向けた総合解析，丹沢大山総合学術報告書，03-710，神奈川県。
- 山根正伸・田村 淳・内山佳美・笹川裕史（2009）丹沢山地におけるブナ林衰退の衰退要因の空間階層的関係の検討，景観生態学13，5-13。