

5) 最大樹冠高 (CHTMX)

SWAT モデルにおける最大樹冠高 (CHTMX) の定義が不明であったため、本事業では樹高を用いることとし、神奈川県「水源林整備の手引き」(平成 29 年 3 月)⁹⁾におけるスギとヒノキの地位別樹高曲線をもとに次のとおり設定した。

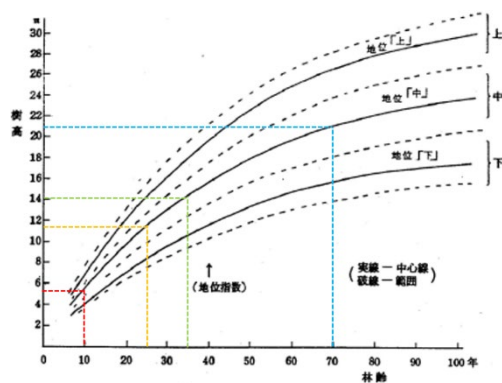


図32 スギの地位別樹高曲線

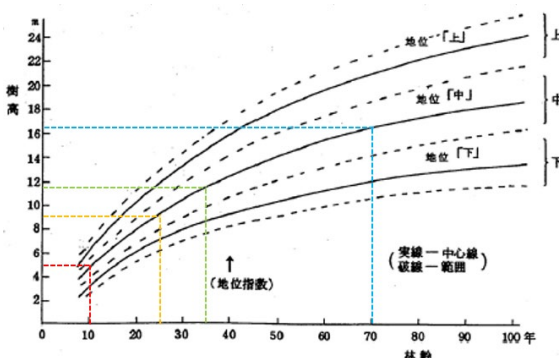


図33 ヒノキの地位別樹高曲線

図 3-21 地位別樹高曲線 (左: スギ、右: ヒノキ)

表 3-15 最大樹冠高 (CHTMX) のパラメータ設定値 (m)

樹種	密度	0-20 年生	20-30 年生	30-40 年生	40 年生以上
スギ	密	5	11	14	21
	中	5	11	14	21
	疎	5	11	14	21
ヒノキ	密	5	9	12	18
	中	5	9	12	18
	疎	5	9	12	18

6) 飽和透水係数 (SOL_K)

飽和透水係数 (SOL_K) は、既往の文献¹⁰⁾を参考に、1 層目から 3 層目の全層一律で 36mm/h とした。各層の飽和透水係数の違いについては今後検討が必要である。

(6) 林相区分図の作成

上記「(2) 林相区分に関する整理」、「(3) 立木密度の算出」で得られた結果をもとに、貝沢試験流域と道志ダム上流域でそれぞれ林相区分図を作成した (図 3-35、図 3-42)。

⁹⁾ <https://www.pref.kanagawa.jp/uploaded/attachment/886791.pdf>

¹⁰⁾ 林地土壌の保水・排水特性の斜面位置による違い (2012) 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
大貫靖浩・吉永秀一郎「筑波共同試験地理水流域における土壌の分布とその保水・流出特性にかかわる物理的特性」森林総研研報 Bull. For. & For. Prod. Res. Inst. No.369,1995(189-207)

3.7. 現地調査

3.7.1. 現地調査の概要

SWAT モデルの計算結果の検証に用いるため、貝沢試験流域における蒸発散量（蒸散量と林床面蒸発量）の現地観測を行った。調査対象地の貝沢試験地（北緯 35°37′, 東経 139°10′）は、相模川水系相模川上流、神奈川県相模原市緑区与瀬に位置している。試験地は源流域における隣接した三つの小流域（流域 1, 2, 3）とそれらを含む流域（流域 4）で構成されている。

流域 1 の流域面積は 6.65ha、流域 2 は 8.53ha であり、標高は 363～556m である。流域内の小林班ごと植栽年が異なっているが、おおよそ 50 年生のスギ・ヒノキ人工林が流域のほとんどを占め、流域 1 と流域 2 境界尾根の一部がコナラ群落からなる二次林で構成されている。地質は、白亜紀から古第三系の小仏層群に分類され、基岩は堆積岩となっている。土壌は褐色森林土亜群となっており乾性褐色森林土、適潤性褐色森林土が分布している（白木ら 2020¹¹）。

試験地から南南東に約 2 km 離れた相模湖アメダスの 1981 年から 2010 年までの平均年降水量は 1,673.5 mm で、最も平均降水量の多い月は 8 月の 271.1 mm、最も平均降水量の少ない月は 12 月で 46.4 mm となっている。

観測プロットは貝沢試験流域の No.1 量水堰横の西向き斜面における約 60 年生ヒノキ人工林を選定し、10m x 10m のプロットを設置した（表 3-16）。

2020 年 12 月に行った毎木調査の結果から、プロット内のヒノキ 7 本とプロット外のヒノキ 2 本を対象とし、樹液流計測を行った（表 3-17）。

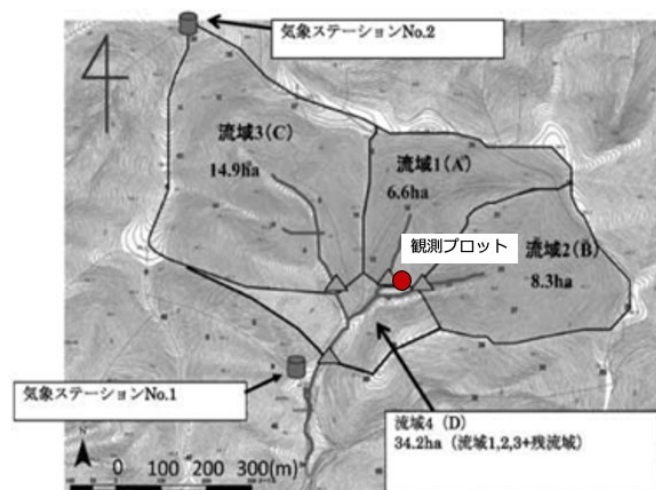


図 3-22 観測プロットの位置

¹¹ 白木克繁・金澤悠花・工藤司・片岡宏介・ウヅムセ・内山佳美 (2020)簡易架線集材による森林整備が流出浮遊土砂量と流域流出量に与える影響. 水文・水資源学会誌. 33 47-55.

表 3-16 観測プロットの基本情報

樹種	ヒノキ
面積	10m x 10m
斜面方位	263°
傾斜	35°
立木密度	800 本/ha
平均胸高直径	38.8 cm
平均樹高	20.7 m



図 3-23 観測プロットの様子



図 3-24 現地作業中の様子

3.7.2. 樹液流観測

樹液流の計測には、辺材の深度方向での変動があるため、直径 2cm、長さ 1cm と 2cm の自作グラニエセンサーを用いて、樹液流速を計測した。一対のセンサーをお互いに 15cm 離して辺材部へ挿入する。上方のセンサーにはヒーター線が内蔵されており、0.2W (2cm センサー) と 0.15W (1cm センサー) の一定の熱を与え、樹液流により生じた温度差から樹液流速を算出する。計測されたセンサー間の温度差は、データロガー (CR300, Campbell Scientific Inc.) とマルチプレクサー (AM16/32, Campbell Inc.) によって秒間隔で計測し、10 分平均値を記録した。

辺材幅の決定は、成長錐を用いたコアサンプリングを取って行った。コアサンプリングは地上高 1.3m の位置で 1 箇所行い、採取したコアの色の違いがある部分を辺材と心材の境界とし、各コアで辺材幅の計測を行った。樹液流速には樹幹周囲方向の変動を考慮し、ランダム方向でセンサーを設置した。本調査では、それぞれ深度の樹液流速を辺材部横断面積で積分することによって単木蒸散量を算定する。樹液流速の計測は 2021 年 2 月から行った。

表 3-17 樹液流速度の計測木の特性

NO	樹高(m)	胸高直径(cm)	辺材幅(cm)	計測深度(cm)
1	19.6	31.7	3.0	0-2, 2-3
2	19.8	34.6	3.2	0-2, 2-3
3	21.5	37.3	2.0	0-2
4	21.9	41.0	2.8	0-2, 2-3
5	19.7	43.1	3.2	0-2, 2-3
6	18.8	42.6	3.0	0-2, 2-3
7	22.5	35.1	2.1	0-2
8	20.3	43.5	2.1	0-2
9	21.8	40.5	3.2	0-2, 2-3

3.7.3. 林床面蒸発量観測

林床面蒸発量の観測は、最大 15kg まで計測できる秤量型ライシメータ (SB-15K10, A&D 社) を用いて、プロット内にライシメータ 5 台を設置して計測した (図 6)。ライシメータの上に、それぞれ直径 20cm、高さ 30cm の植木鉢を設置した。ライシメータ 5 台のうち 4 台はプロット内の下層植生 (シダ 2 箇所とアオキ 2 箇所) を入れ、1 台は土壌のみを入れた。現地作業の時に、植木鉢の底から土壌の流出を防ぐため、まず植木鉢の底に小石を入れ、その上に掘り出したプロット内の土壌を入れた。シダとアオキはプロット周辺で掘り出したものを、できる限り根とその周辺の土壌をそのまま植木鉢に入れた。植木鉢の重量はデータロガー (MIJ-01、日本環境計測株式会社) を用いて 10 分毎で計測した。林床面蒸発量の計測は 2020 年 12 月末から行った。

林内の気象観測は、プロット内に雨量、気温、湿度、光合成有効日射をそれぞれ転倒ます型雨量計 (1 転倒雨量 0.2mm ; S-RGF-M002, Onset 社)、温湿度計 (S-THB-M002, Onset 社)、光合成有効日射センサー (S-LIA-M003, Onset 社) で計測し (図 3-25)、10 分間隔のデータはデータロガー (U30-NRC, Onset 社) を用いて記録した。

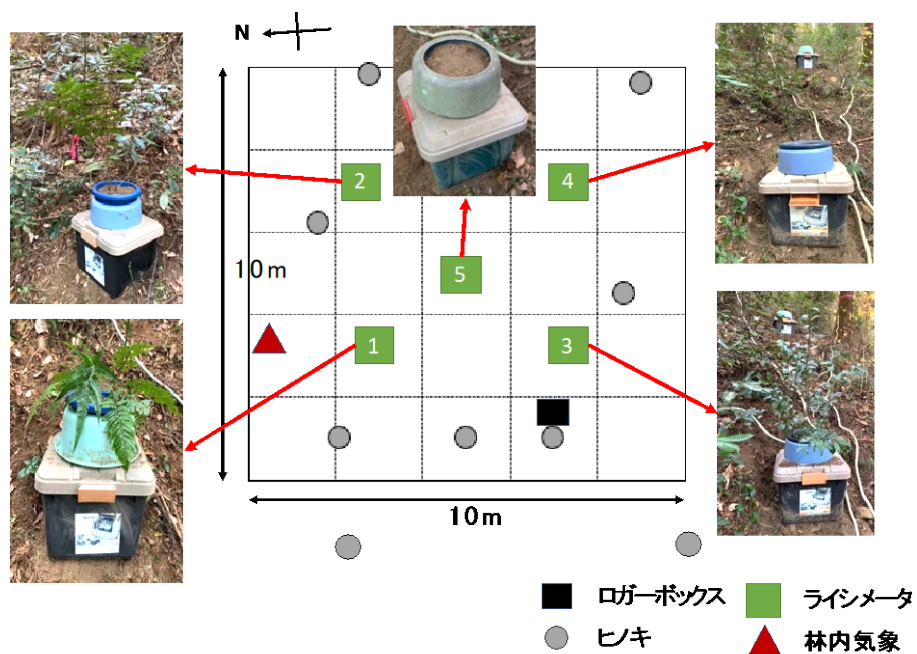


図 3-25 プロット内のライシメータの設置状況

3.7.4. 観測結果

2021 年 2 月 19 日に 360 度カメラ (Ricoh Thata V) と魚眼レンズ (Nikon FC-E9, Japan) を用いて観測プロット内の全天空写真を撮影した (図 3-26)。その後、全天空写真解析ソフト (Gap Light Analyzer V2.0, Simon Fraser University) を用いて解析した結果、当プロットの葉面積指数と開空度について、Theta V では $1.8 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ と 16.3%、魚眼レンズでは $1.9 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ と 16.0%であることが分かった。

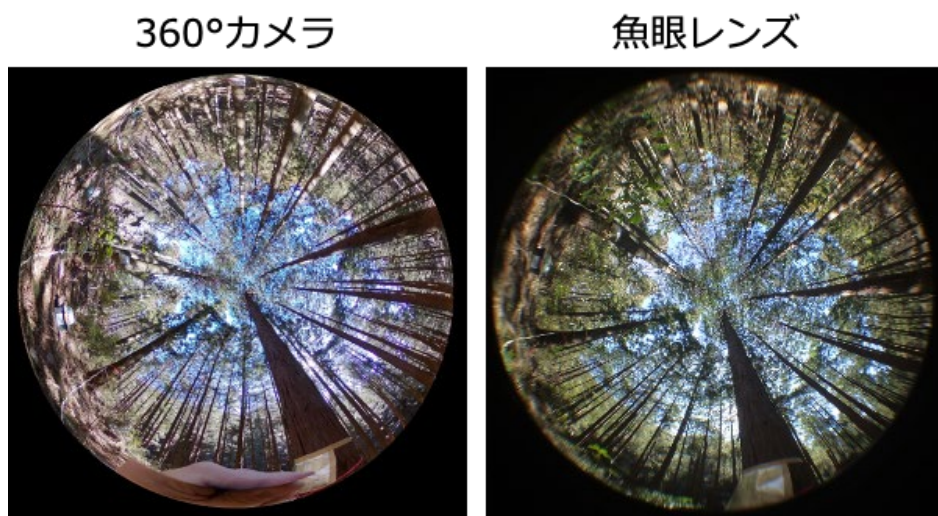


図 3-26 360 度カメラと魚眼レンズを用いて撮影した全天空写真 (2021 年 2 月 19 日)

2021年2月9日～2月18日の計測木の樹液流速変化は図3-27に示す。日中の最大樹液流速は約 $5\sim 30\text{ cm}^3\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ の範囲であり、計測木間に明らかな違いが見られた。本調査で得られた2月の樹液流速は既往研究と同程度であることが分かった(Takagi 2013¹²)。一般的に、個体間の樹液流速変化の理由は個体サイズの違いや辺材面積の違い、樹冠の位置、樹幹周辺の土壌水分分布などに影響を受ける(Chiu et al. 2016¹³)。毎日の樹液流速の変化は気象に影響されると考えられた。一方、辺材の外側の樹液流速は辺材の内側より大きいことがわかった。例えば、計測木1の外側辺材の日中最大樹液流速は $10\sim 30\text{ cm}^3\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ であり、内側辺材の日中最大樹液流速は外側の約4割の $5\sim 10\text{ cm}^3\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ である。このような違いは、辺材の外側より内側の辺材に古い仮道管が分布しており、林齢の増加とともに古い仮道管が非機能的になって、最初形成された時期より高い水理抵抗を持つようになった(Ford et al. 2004¹⁴) ことによると考えられる。また、2021年2月9日～2月18日における日中の1時間当りの最大林分蒸散量の範囲は $0.03\sim 0.14\text{ mm/h}$ であり、日蒸散量は $0.3\sim 1.2\text{ mm/日}$ であることが分かった(図3-28、表3-18)。

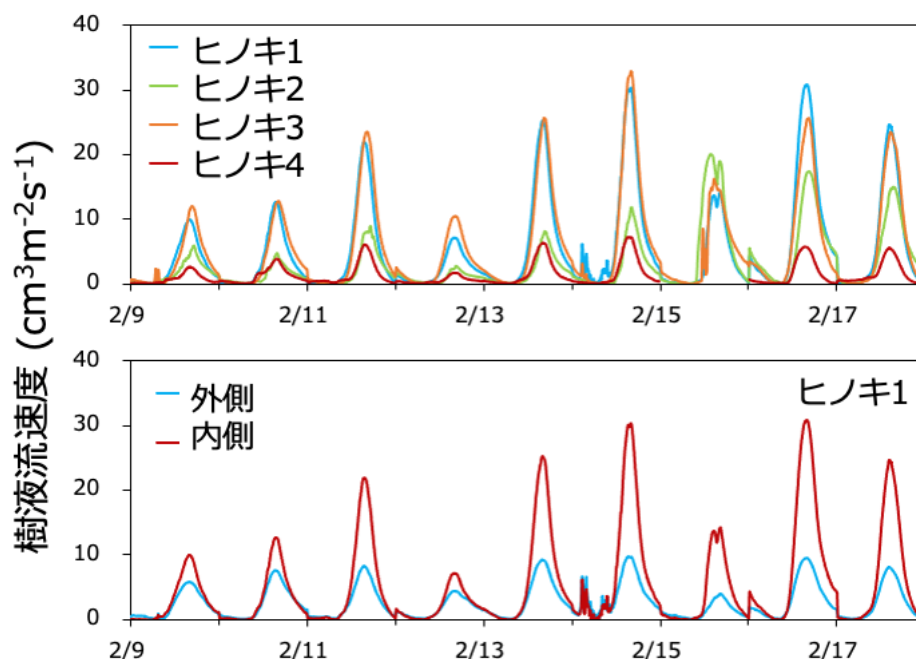


図3-27 計測木間と辺材深度別の樹液流速の日変化

¹² Tagaki M. (2013) Evapotranspiration and deep percolation of a small catchment with a mature Japanese cypress plantation. Journal of Forest Research. 18 73-81.

¹³ Chiu CW, Kume T, Komatsu H, Tseng H, Wey TH, Otsuki K. (2016) Seasonal changes of azimuthal, radial, and tree-to-tree variations in sap flux affect stand transpiration estimates in a Cryptomeria japonica forest, central Taiwan. Journal of Forest Research. 21 151-160.

¹⁴ Ford C, McGuire M, Mitchell R, Teskey R. (2004) Assessing variation in the radial profile of sap flux density in Pinus species and its effect on daily water use. Tree Physiology. 24 241-249.

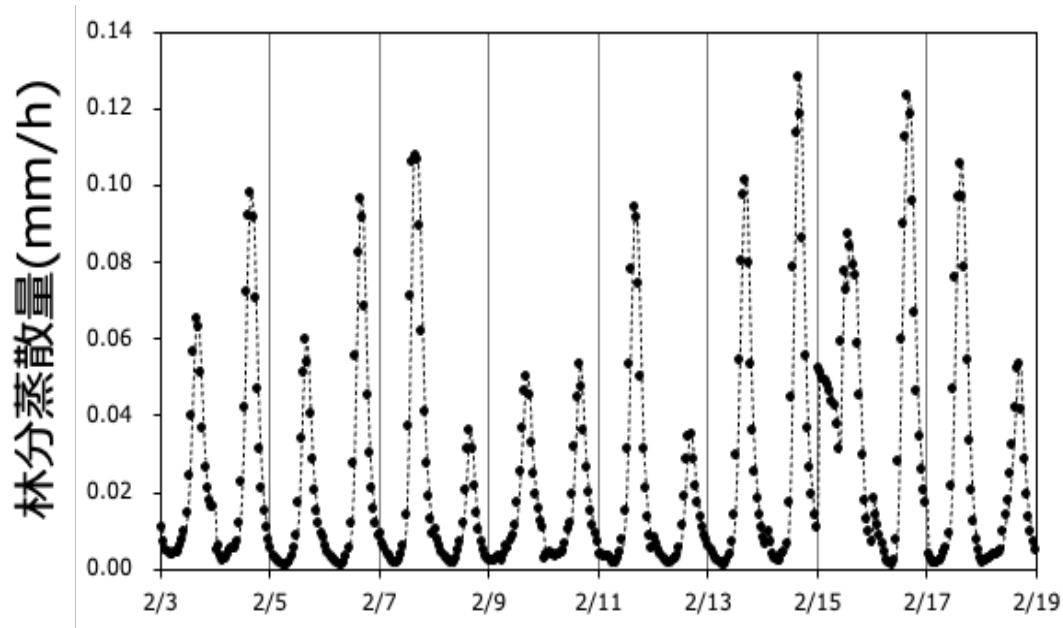


図 3-28 観測 プロットの時間別蒸散量

林床面蒸発量は林内の大気飽差と高い相関が見られた（図 3-29）。12 月 26 日～1 月 8 日の間に、植生ありのライシメータで記録した蒸発散量は 0.01～0.72mm/日だが、土壌のみの蒸発量は 0.01～0.34mm/日である。既往研究では、立木密度 1098 本/ha のヒノキ人工林における 12 月～2 月の林床面蒸発量は約 0.1～1.2mm/日（平均：0.6mm/日、標準偏差：0.2mm/日）であり（Sun et al. 2016¹⁵）、本調査の結果より少し大きい数値であることが分かった。その違いは、Sun ら（2016）の試験地が 50%列状間伐され、開空度（24%）が本調査（16%）より大きいため、林床面に到達する日射量が多いことが考えられ、林内の大気飽差が高くなると、林床面蒸発量も高くなることがわかった。さらに、下層植生を入れたライシメータは土壌のみを入れたライシメータより高い蒸発量が観察された。今後、更なる観測により、林床面蒸発量の全体の蒸発散量に占める割合を予測できると考えられる。これにより、本調査で構築している SWAT モデルでは、林床面蒸発を考慮するパラメータが無いところ、別途考慮すべき値を的確に押さえることが可能となる。

¹⁵ Sun X, Onda Y, Otsuki K, Kato H, Gomi T. (2016) The effect of strip thinning on forest floor evaporation in a Japanese cypress plantation. *Agricultural and Forest Meteorology*. 216 48-57.

表 3-18 林分蒸散量の時間別一覧表

TIMESTAMP	林分蒸散量(mm/h)	TIMESTAMP	林分蒸散量(mm/h)	TIMESTAMP	林分蒸散量(mm/h)	TIMESTAMP	林分蒸散量(mm/h)
2021/2/9 1:00	0.002	2021/2/12 1:00	0.008	2021/2/15 1:00	0.052	2021/2/18 1:00	0.001
2021/2/9 2:00	0.002	2021/2/12 2:00	0.006	2021/2/15 2:00	0.051	2021/2/18 2:00	0.002
2021/2/9 3:00	0.002	2021/2/12 3:00	0.005	2021/2/15 3:00	0.050	2021/2/18 3:00	0.002
2021/2/9 4:00	0.003	2021/2/12 4:00	0.003	2021/2/15 4:00	0.049	2021/2/18 4:00	0.003
2021/2/9 5:00	0.003	2021/2/12 5:00	0.003	2021/2/15 5:00	0.048	2021/2/18 5:00	0.003
2021/2/9 6:00	0.002	2021/2/12 6:00	0.002	2021/2/15 6:00	0.046	2021/2/18 6:00	0.003
2021/2/9 7:00	0.003	2021/2/12 7:00	0.002	2021/2/15 7:00	0.043	2021/2/18 7:00	0.004
2021/2/9 8:00	0.006	2021/2/12 8:00	0.001	2021/2/15 8:00	0.042	2021/2/18 8:00	0.004
2021/2/9 9:00	0.005	2021/2/12 9:00	0.002	2021/2/15 9:00	0.037	2021/2/18 9:00	0.004
2021/2/9 10:00	0.008	2021/2/12 10:00	0.002	2021/2/15 10:00	0.031	2021/2/18 10:00	0.010
2021/2/9 11:00	0.008	2021/2/12 11:00	0.003	2021/2/15 11:00	0.059	2021/2/18 11:00	0.014
2021/2/9 12:00	0.011	2021/2/12 12:00	0.005	2021/2/15 12:00	0.077	2021/2/18 12:00	0.018
2021/2/9 13:00	0.017	2021/2/12 13:00	0.011	2021/2/15 13:00	0.073	2021/2/18 13:00	0.024
2021/2/9 14:00	0.025	2021/2/12 14:00	0.019	2021/2/15 14:00	0.087	2021/2/18 14:00	0.032
2021/2/9 15:00	0.036	2021/2/12 15:00	0.029	2021/2/15 15:00	0.084	2021/2/18 15:00	0.042
2021/2/9 16:00	0.046	2021/2/12 16:00	0.034	2021/2/15 16:00	0.079	2021/2/18 16:00	0.052
2021/2/9 17:00	0.050	2021/2/12 17:00	0.035	2021/2/15 17:00	0.077	2021/2/18 17:00	0.053
2021/2/9 18:00	0.045	2021/2/12 18:00	0.029	2021/2/15 18:00	0.059	2021/2/18 18:00	0.041
2021/2/9 19:00	0.033	2021/2/12 19:00	0.022	2021/2/15 19:00	0.045	2021/2/18 19:00	0.028
2021/2/9 20:00	0.025	2021/2/12 20:00	0.017	2021/2/15 20:00	0.030	2021/2/18 20:00	0.019
2021/2/9 21:00	0.019	2021/2/12 21:00	0.013	2021/2/15 21:00	0.018	2021/2/18 21:00	0.013
2021/2/9 22:00	0.015	2021/2/12 22:00	0.011	2021/2/15 22:00	0.013	2021/2/18 22:00	0.010
2021/2/9 23:00	0.012	2021/2/12 23:00	0.009	2021/2/15 23:00	0.009	2021/2/18 23:00	0.007
2021/2/10 0:00	0.010	2021/2/13 0:00	0.007	2021/2/16 0:00	0.007	2021/2/19 0:00	0.005
2021/2/10 1:00	0.003	2021/2/13 1:00	0.006	2021/2/16 1:00	0.018		
2021/2/10 2:00	0.003	2021/2/13 2:00	0.005	2021/2/16 2:00	0.014		
2021/2/10 3:00	0.004	2021/2/13 3:00	0.004	2021/2/16 3:00	0.011		
2021/2/10 4:00	0.004	2021/2/13 4:00	0.003	2021/2/16 4:00	0.009		
2021/2/10 5:00	0.003	2021/2/13 5:00	0.002	2021/2/16 5:00	0.006		
2021/2/10 6:00	0.003	2021/2/13 6:00	0.001	2021/2/16 6:00	0.004		
2021/2/10 7:00	0.003	2021/2/13 7:00	0.001	2021/2/16 7:00	0.002		
2021/2/10 8:00	0.004	2021/2/13 8:00	0.001	2021/2/16 8:00	0.001		
2021/2/10 9:00	0.004	2021/2/13 9:00	0.002	2021/2/16 9:00	0.001		
2021/2/10 10:00	0.007	2021/2/13 10:00	0.004	2021/2/16 10:00	0.002		
2021/2/10 11:00	0.010	2021/2/13 11:00	0.007	2021/2/16 11:00	0.008		
2021/2/10 12:00	0.011	2021/2/13 12:00	0.014	2021/2/16 12:00	0.028		
2021/2/10 13:00	0.019	2021/2/13 13:00	0.030	2021/2/16 13:00	0.059		
2021/2/10 14:00	0.032	2021/2/13 14:00	0.054	2021/2/16 14:00	0.090		
2021/2/10 15:00	0.044	2021/2/13 15:00	0.080	2021/2/16 15:00	0.112		
2021/2/10 16:00	0.053	2021/2/13 16:00	0.098	2021/2/16 16:00	0.123		
2021/2/10 17:00	0.047	2021/2/13 17:00	0.101	2021/2/16 17:00	0.119		
2021/2/10 18:00	0.036	2021/2/13 18:00	0.080	2021/2/16 18:00	0.096		
2021/2/10 19:00	0.026	2021/2/13 19:00	0.053	2021/2/16 19:00	0.067		
2021/2/10 20:00	0.020	2021/2/13 20:00	0.036	2021/2/16 20:00	0.046		
2021/2/10 21:00	0.015	2021/2/13 21:00	0.025	2021/2/16 21:00	0.034		
2021/2/10 22:00	0.011	2021/2/13 22:00	0.018	2021/2/16 22:00	0.026		
2021/2/10 23:00	0.009	2021/2/13 23:00	0.014	2021/2/16 23:00	0.020		
2021/2/11 0:00	0.007	2021/2/14 0:00	0.011	2021/2/17 0:00	0.017		
2021/2/11 1:00	0.004	2021/2/14 1:00	0.008	2021/2/17 1:00	0.004		
2021/2/11 2:00	0.003	2021/2/14 2:00	0.006	2021/2/17 2:00	0.002		
2021/2/11 3:00	0.003	2021/2/14 3:00	0.010	2021/2/17 3:00	0.002		
2021/2/11 4:00	0.003	2021/2/14 4:00	0.007	2021/2/17 4:00	0.001		
2021/2/11 5:00	0.003	2021/2/14 5:00	0.004	2021/2/17 5:00	0.001		
2021/2/11 6:00	0.003	2021/2/14 6:00	0.002	2021/2/17 6:00	0.002		
2021/2/11 7:00	0.002	2021/2/14 7:00	0.002	2021/2/17 7:00	0.002		
2021/2/11 8:00	0.002	2021/2/14 8:00	0.002	2021/2/17 8:00	0.004		
2021/2/11 9:00	0.003	2021/2/14 9:00	0.004	2021/2/17 9:00	0.005		
2021/2/11 10:00	0.004	2021/2/14 10:00	0.004	2021/2/17 10:00	0.009		
2021/2/11 11:00	0.007	2021/2/14 11:00	0.006	2021/2/17 11:00	0.021		
2021/2/11 12:00	0.015	2021/2/14 12:00	0.017	2021/2/17 12:00	0.047		
2021/2/11 13:00	0.031	2021/2/14 13:00	0.044	2021/2/17 13:00	0.076		
2021/2/11 14:00	0.053	2021/2/14 14:00	0.079	2021/2/17 14:00	0.097		
2021/2/11 15:00	0.078	2021/2/14 15:00	0.113	2021/2/17 15:00	0.106		
2021/2/11 16:00	0.094	2021/2/14 16:00	0.128	2021/2/17 16:00	0.097		
2021/2/11 17:00	0.091	2021/2/14 17:00	0.118	2021/2/17 17:00	0.079		
2021/2/11 18:00	0.074	2021/2/14 18:00	0.086	2021/2/17 18:00	0.054		
2021/2/11 19:00	0.050	2021/2/14 19:00	0.055	2021/2/17 19:00	0.033		
2021/2/11 20:00	0.031	2021/2/14 20:00	0.036	2021/2/17 20:00	0.021		
2021/2/11 21:00	0.021	2021/2/14 21:00	0.026	2021/2/17 21:00	0.012		
2021/2/11 22:00	0.014	2021/2/14 22:00	0.019	2021/2/17 22:00	0.007		
2021/2/11 23:00	0.009	2021/2/14 23:00	0.014	2021/2/17 23:00	0.005		
2021/2/12 0:00	0.005	2021/2/15 0:00	0.011	2021/2/18 0:00	0.002		

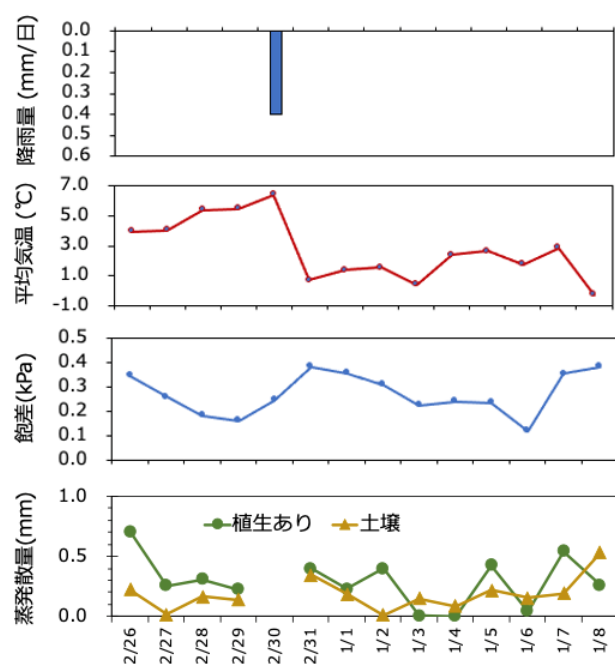


図 3-29 林内気象と林床面蒸発量の日変化

表 3-19 ライシメータ別の日蒸発散量一覧表

Date	植生あり				土壌のみ
	Lysi1	Lysi2	Lysi3	Lysi4	Lysi5
2020/12/26	0.71	4.07	0.57	0.40	0.22
2020/12/27	0.26	5.41	0.88	0.18	0.02
2020/12/28	0.31	3.51	1.11	0.12	0.17
2020/12/29	0.22	3.46	1.19	0.00	0.14
2020/12/30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2020/12/31	0.40	0.00	0.65	0.41	0.34
2021/1/1	0.23	1.76	0.51	0.35	0.19
2021/1/2	0.40	0.00	0.00	0.17	0.01
2021/1/3	0.01	2.60	1.31	0.07	0.15
2021/1/4	0.00	1.25	0.26	0.04	0.08
2021/1/5	0.42	0.67	0.00	0.34	0.22
2021/1/6	0.04	0.30	1.52	0.00	0.15
2021/1/7	0.54	0.00	0.00	0.56	0.19
2021/1/8	0.26	0.00	0.02	0.24	0.53
2021/1/9	0.31	0.13	0.33	0.14	0.00
2021/1/10	0.16	0.31	0.00	0.08	0.17
2021/1/11	0.00	1.09	0.21	0.00	0.00
2021/1/12	0.00	2.56	0.44	0.00	0.00
2021/1/13	0.00	3.35	1.36	0.00	0.13
2021/1/14	0.00	1.51	0.00	0.31	0.22
2021/1/15	0.00	3.21	0.97	0.00	0.06
2021/1/16	0.54	0.00	0.00	0.33	0.15
2021/1/17	0.15	0.00	0.97	0.30	0.29
2021/1/18	0.06	0.00	0.00	0.22	0.27
2021/1/19	0.32	0.00	0.30	0.23	0.29
2021/1/20	0.04	2.28	0.82	0.00	0.04