

研究資料 (Research record)

札幌森林気象試験地の気象 (1999 ~ 2018 年)

溝口 康子^{1)*}、山野井 克己²⁾

要旨

札幌市郊外の落葉広葉樹林で 1999 年から気象観測を行っている。2018 年までの 20 年間の気象観測データを取りまとめた。台風によって観測施設の大きな被害を受けたため、2004 年 9 月から翌年の 5 月、2018 年 9 月以降、降水量を除く要素の観測は中断した。対象期間の全天日射量、気温、水蒸気圧の平均はそれぞれ $12.6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 、 $7.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 9.4 hPa であった。風速の平均は 2.8 m s^{-1} 、最多風向は南南東であった。降水量は 2007 年から 2018 年までの平均年降水量は 1246 mm であった。

キーワード：全天日射量、気温、水蒸気圧、降水量、風速、風向、札幌森林気象試験地

1. はじめに

札幌市豊平区羊ヶ丘の落葉広葉樹林に、森林の二酸化炭素吸収・放出量測定を主な目的とした札幌森林気象試験地を設定し、試験地内に建設された 41 m のアルミ製気象観測タワーを中心とした観測を 1999 年 5 月中旬から開始した。この試験地は同様の観測を行っている観測ネットワークの FLUXNET (<http://www.fluxnet.ornl.gov/>) および AsiaFlux (<http://www.asiaflux.net/>; SiteCode: SAP) のサイトとして登録されているほか、この試験地を含む森林総合研究所羊ヶ丘実験林は、長期生態学研究ネットワークである JaLTER (<http://www.jalter.org/>) の準サイト「羊ヶ丘」として登録されている。観測項目には、森林の二酸化炭素吸収・放出量に影響を及ぼす環境因子である気象要素も含まれている。

気象観測は芝地の観測露場で行われるのが一般的である (気象庁 1998) が、森林が形成する微気候、さらに森林生態系に影響する環境要因としての気象の情報は重要であるため、観測開始から 2008 年までの 10 年間の主要な気象要素 (気温、日射、降水量等) の観測結果が公表されている (溝口ら 2014)。本報告では既報分のデータを再精査するとともに新たに 10 年分を追加し、観測開始から 2018 年までの約 20 年間についてとりまとめた。

2. 方法

2.1 試験地の概要

札幌森林気象試験地 (Photo 1) は、札幌市郊外に位置する森林総合研究所北海道支所敷地約 150 ha の羊ヶ丘実験林内に、気象観測を主に行っている観測タワー (Photo 2) を中心としたエリアとして設定されている。羊ヶ丘実験林の周辺は森林、農地および住宅地が広がっている (Fig. 1; 地形図は地理院タイル標準地図 <https://maps.gsi.jp/>).

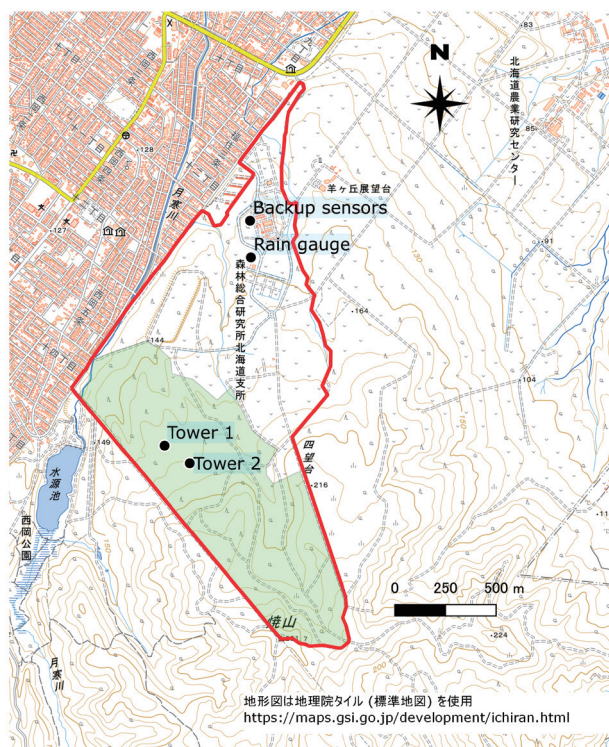


Fig. 1. 札幌森林気象試験地における気象観測タワー、雨量計およびバックアップセンサの位置

Location of the observation towers, rain gauge, and backup sensors at the Sapporo forest meteorology site

赤枠が羊ヶ丘実験林、実験林内の薄緑で塗られている範囲が札幌森林気象試験地に設定されている落葉広葉樹林、気象観測は Tower1 で実施。

Red frame shows the Hitsujigaoka experimental forest. Green area in the Hitsujigaoka experimental forest, where the Sapporo forest meteorology research site is set, is covered with deciduous broadleaf trees. Meteorological observation was conducted at Tower1.

原稿受付：令和 4 年 6 月 2 日 原稿受理：令和 4 年 7 月 28 日

1) 森林総合研究所 北海道支所

2) 元 森林総合研究所 北海道支所

* 森林総合研究所 北海道支所 〒 062-8516 札幌市豊平区羊ヶ丘 7、E-mail: pop128@affrc.go.jp

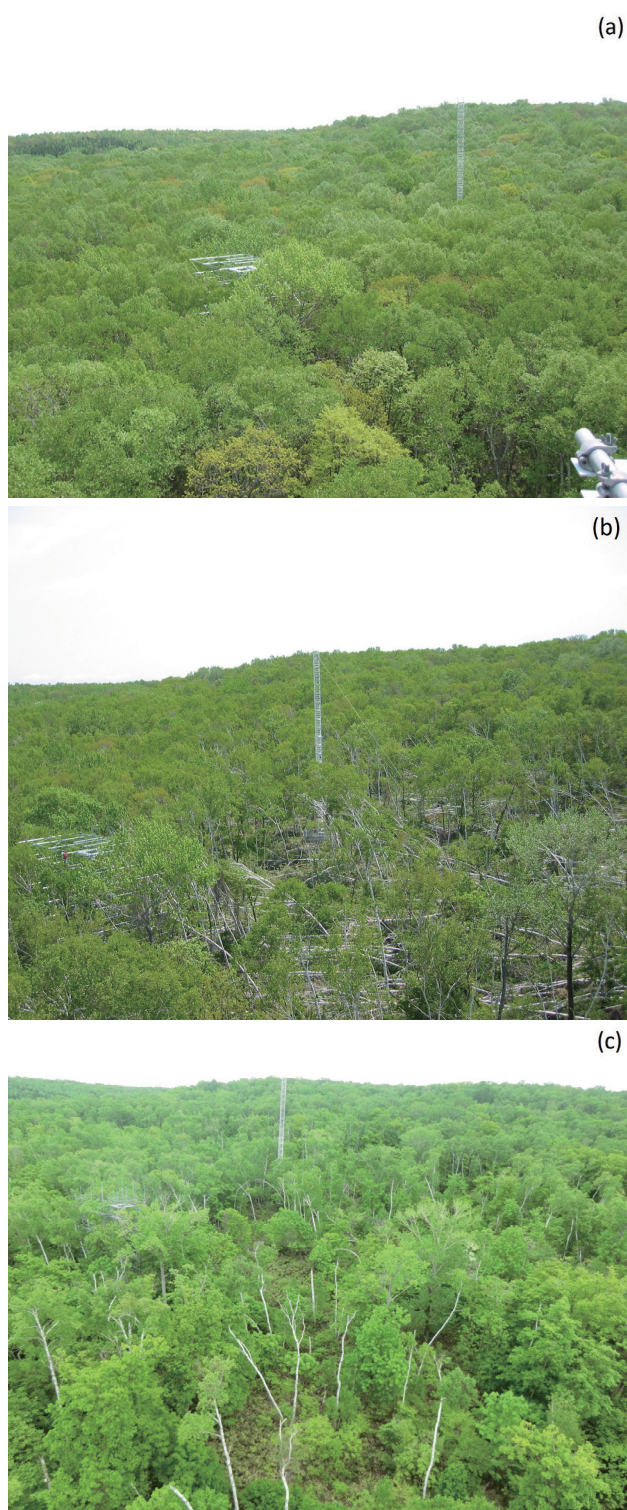


Photo 1. 気象観測タワー Tower1 から Tower2 の方向を撮影した札幌森林気象試験地の様子

View of the Sapporo forest meteorology research site toward Tower2 from Tower1

撮影日：(a) 2003 年 5 月 20 日 [2004 年の台風被害前]、(b) 2006 年 5 月 24 日 [台風被害の 2 年後]、(c) 2018 年 5 月 28 日 [台風被害の 14 年後]

Dates of filming: (a) May 20, 2003 [before the typhoon damage in 2004], (b) May 24, 2006 [two years after the typhoon damage], and (c) May 28, 2018 [14 years after the typhoon damage]

(a)

(b)

(c)

go.jp/development/ichiran.html を使用)。羊ヶ丘実験林には、1974 年に森林総合研究所北海道支所の前身である林業試験場北海道支場が羊ヶ丘に移転した際に植林された針葉樹・広葉樹の人工林以外に、19 世紀末の数度の山火事後に成立したシラカンバ、ミズナラ等の落葉広葉樹で構成される再生二次林が分布する (森林総合研究所北海道支所 1998)。この二次林内に設置した観測用タワー 2 基のうち、気象観測は北側のタワー (Tower1) で行った (北緯 42°59.2'、東経 141°23.1'、標高 182 m)。タワー周辺の群落高は約 20m、林床にはチシマザサ、クマイザサが繁茂している。気象観測当初は閉鎖林であったが (Photo 1a)、2004 年 9 月 8 日に通過した台風 18 号によって風倒被害を受け多数のギャップが形成された (Photo 1b)。現在は徐々に植生回復している段階で (Photo 1c)、タワー周辺の森林の状況はこの 20 年間で大きく変化した (溝口ら 2021)。

2004 年の台風 18 号による観測設備の被害により、気象観測は 2005 年 5 月まで中断した。また、2018 年 9 月 5 日未明に通過した台風 21 号により再度観測設備の被害を受けたため、それまで観測を行っていた Tower1 の約 170m 南東方向にある Tower2 に観測地点を移動させたが、本報告では観測地点移動後のデータは取り扱わなかった。

2.2 観測

観測タワー完成後の 1999 年春から順次センサを Tower1 (以降、タワーと称す) に取り付け、観測を開始した (Table 1)。全天日射量を測定する全天日射計 CM-06F (Kipp & Zonen, Delft, Netherland) は、防霜ファン付きをタワー最上部に取り付けた。気温および相対湿度を測定する温湿度計は、表面を白色に塗装された二重の塩ビ製パイプ内にファンが取り付けられた通風筒の中に取り付け、タワーの南面に設置した。温湿度計は 2013 年 9 月 3 日に HMP45D (Vaisala Oxx, Helsinki, Finland) から HMP155 (Vaisala Oxx, Helsinki, Finland) に変更した。風速計は、測定当初は WM-30P (池田計器製作所、東京)、2006 年 5 月



Photo 2. 気象観測タワー : Tower1

Meteorological observation tower: Tower1

19 日からは 05103 (R.M.Young, Michigan, USA)、2013 年 9 月 6 日からは WMT52 (Vaisala Oyj, Helsinki, Finland) をタワーの西面に約 2 m パイプを張り出した先端に取り付けた (Photo 3)。これらの要素の記録に用いたデータロガーは、測定開始当初は CADAC2 (江藤電気, 東京) で、データロガーをパソコンによって制御し、10 秒間隔で測定、10 分間平均値をパーソナルコンピュータに記録した。2 週間毎にフロッピーディスクを介してデータを回収した。2013 年 9 月 3 日よりデータロガーを CR1000 (Campbell Scientific, USA) に変更し、10 秒間隔で測定、5 分間平均値をメモリに記録、2 週間毎にインターネット経由でデータを回収した。

風向は、タワー最上部に設置した矢羽根式の風向計の欠測が多かったため、3 次元超音波風速温度計 DA600 (カイジョーソニック; 現ソニック, 東京) の出力から計算した。プローブの取り付けはタワー西面に約 2 m パイプを張り出した先端に取り付けた。プローブは当初 TR-61C を用いた。台風被害後 2005 年の観測再開以降は TR-61A を使用した。

降水量は 2006 年 11 月にタワーから約 2km 離れた芝地の観測露場 (北緯 42°59.7'、東経 141°23.4' E、標高 147 m)

(Photo 4、Fig.1) に風防付きの溢水式雨量計 B-071 (横河電子機器, 東京) を設置し、測定を開始した。データロガーは、Hobo H07-002-04 (Onset, Massachusetts, USA) を用いた。

林内の積雪深は、1999 年から 2004 年までは光電式の積雪深計 MetSD-1800 (メテオ電子計測、札幌)、2006 年からは超音波式の積雪深計 SR50 (Campbell Scientific, Utah, USA)、2014 年 12 月からは SR50A (Campbell Scientific,



Photo 3. 風速計 WMT52 (Vaisala)
Anemometer: WMT52 (Vaisala)

Table 1. 測器履歴

History of the instruments

Element	Instrument		Setting height	Measurement initiation date	Logger	Comment
	Manufacturer	Model				
Global solar radiation	Kipp & Zonen, Nethreland	CM-06F	41.3 m	1999-05-13	CADAC2 ¹⁾ (Eto Denki, Japan), CR1000 ²⁾ (Campbell Scientific, USA)	with a fan
Air temperature & vapor pressure	Vaisala, Finland	HMP45D	29.6 m	1999-05-13		removed date: 2013-09-03
		HMP155		2013-09-03		installed in a radiation shield with a fan
Wind velocity	Ikedate Keiki, Japan	WM-30P	29.6 m	1999-05-21		removed date: 2006-07-01
	R. M. Young, USA	05103		2006-05-19		removed date: 2013-09-02
	Vaisala, Finland	WMT52		2013-09-06		
Wind direction	Kaijo Sonic, Japan	DA600: TR-61C	28.5 m	1999-07-09	DRM3 ³⁾ (TEAC, Japan), CR3000 ⁴⁾ (Campbell Scientific, USA)	removed date: 2004-09-08
		DA600: TR-61A		2005-05-20		
Precipitation	Yokogawa Denshikiki, Japan	B-071	2.0 m	2006-11-30	Hobo H07-002-04 (Onset, USA)	with a wind shield, location: open space, approximately 2 km away from the tower in the northeast
Snow depth	Meteo Denshikeisoku, Japan	MetSD-1800	on the ground	1999-10-25	CR10 ⁵⁾ (Campbell Scientific, USA), CR1000 ²⁾ (Campbell Scientific, USA)	removed date: 2004-09-08
	Campbell, USA	SR50	2.5 m	2006-01-26		removed date: 2014-01-14
		SR50A		2014-12-09		

1) データ取得間隔: 10 秒、データ保存: 10 分平均、使用期間: 1999 年 5 月 13 日～2013 年 9 月 2 日

2) データ取得間隔: 10 秒、データ保存: 5 分平均、使用期間: 2013 年 9 月 3 日～2018 年 9 月 6 日

3) データ取得間隔: 0.2 秒、データ保存: 0.2 秒毎瞬時値、使用期間: 1999 年 7 月 9 日～2013 年 9 月 3 日

4) データ取得間隔: 0.1 秒、データ保存: 0.1 秒毎瞬時値、使用期間: 2013 年 9 月 3 日～2018 年 9 月 4 日

5) データ取得間隔: 60 秒、データ保存: 10 分平均、使用期間: 1999 年 5 月 13 日～2013 年 9 月 5 日

1) Sampling interval: 10 seconds, data storage: 10-minutes average, and operation period: from May 13, 1999, to September 2, 2013

2) Sampling interval: 10 seconds, data storage: 5-minutes average, and operation period: from September 3, 2013, to September 6, 2018

3) Sampling interval: 0.2 seconds, data storage: 0.2 seconds instant value, and operation period: from July 09, 1999, to September 3, 2013

4) Sampling interval: 0.1 seconds, data storage: 0.1 seconds instant value, and operation period: from September 03, 2013, to September 4, 2018

5) Sampling interval: 60 seconds, data storage: 10-minutes average, and operation period: from May 13, 1999, to September 5, 2013

Utah, USA) をタワーから約 30 m 南側の林内に設置した (Photo 5)。データロガーは 2013 年春までは CR10 (Campbell Scientific, Utah, USA) を用い、60 秒間隔で測定、10 分間平均値を内部メモリに記録し、2 週間毎にパーソナルコンピュータを介してデータを回収した。2013 年秋以降は日射、温湿度と同様、CR1000 (Campbell Scientific, USA) に変更し、10 秒間隔で測定、5 分間平均値をメモリに記録、2 週間毎にインターネット経由でデータを回収した。



Photo 4. 雨量計を設置している気象観測露場と気象観測タワー遠景

Meteorological observation open field where a rain gauge is located and a distant view of the tower
気象観測露場上空から南の方角を撮影
Southern view from above the meteorological observation open field



Photo 5. 積雪深計 SR50A (Campbell Scientific)
Snow depth sensor: SR50A (Campbell Scientific)

2.3 データ処理

観測データは、降水量は 30 分積算値、それ以外は 30 分平均値に整理した。その後、日射量、気温、水蒸気圧の欠測部分は、前後のデータから内挿、あるいは周辺の気象観測データを用いて補間した。参照した気象データの観測地点と補間処理の優先順位を Table 2 に示す。基本的な補間方法は既報 (溝口ら 2014) と同様に、短時間の欠測では線形内挿、長時間の欠測には周辺気象データと札幌森林気象試験地のデータの関係性を求めた上で代替した。降水量は同じ観測露場の別の降水量計 MC-2100 (光進電気工業、東京) のデータを用いて補間した (溝口・山野井 2015)。停電時や機器等の損傷による長期の欠測を避けるため、2011 年 9 月以降、日射および気温・水蒸気圧の補間用にバックアップセンサを、森林総合研究所北

Table 2. データ補間方法

Element	Interpolation ¹⁾	Reference data			
		1	2	3	4
Global solar radiation	2 hours	backup sensor ²⁾	HARC, Sapporo, NARO ³⁾	JMA ⁴⁾	-
Air temperature	2 hours	backup sensor ²⁾	open field ⁵⁾	HARC, Sapporo, NARO ³⁾	JMA ⁴⁾
Vapor pressure	2 hours	different heights ⁶⁾	backup sensor ²⁾	open field ⁵⁾	HARC, NARO ³⁾
Wind velocity	-	-	-	-	-
Wind direction	-	-	-	-	-
Precipitation	-	open field ⁵⁾	-	-	-
Snow depth	-	-	-	-	-

1) 欠測が 2 時間以内の時は線形内挿

2) 北緯 42°59.8'、東経 141°23.4'、標高 143 m: 森林総合研究所北海道支所本館屋上

3) 北緯 43°00.4'、東経 141°24.7'、標高 73 m: 農業研究機構北海道農業研究センター

4) 北緯 43°03.6'、東経 141°19.7'、標高 17 m: 気象庁札幌気象管区气象台

5) 北緯 42°59.7'、東経 141°23.3'、標高 150 m: 森林総合研究所北海道支所羊ヶ丘実験林気象観測露場

6) 北緯 42°59.2'、東経 141°23.1'、標高 182 m: 札幌森林気象試験地気象観測タワー・測定高度 28.5 m、33.5 m、25.8 m

1) Linear interpolation when missing period is less than 2 hours

2) 42°59.8' N, 141°23.4' E, 143 m above sea level: on the rooftop of the Hokkaido Research Center building, Forestry and Forest Production Research Institute (FFPRI)

3) 43°00.4' N, 141°24.7' E, 73 m above sea level: Hokkaido Agricultural Research Center, National Agriculture and Food Research Organization

4) 43°03.6' N, 141°19.7' E, 17 m above sea level: Sapporo Regional Headquarters, Japan Meteorological Agency

5) 42°59.7' N, 141°23.3' E, 150 m above sea level: Meteorological observation open field, Hitsujigaoka experimental forest, FFPRI

6) 42°59.2' N, 141°23.1' E, 182 m above sea level: on the tower at the Sapporo forest meteorological research site, measurement heights; 28.5 m, 33.5 m and 25.8 m

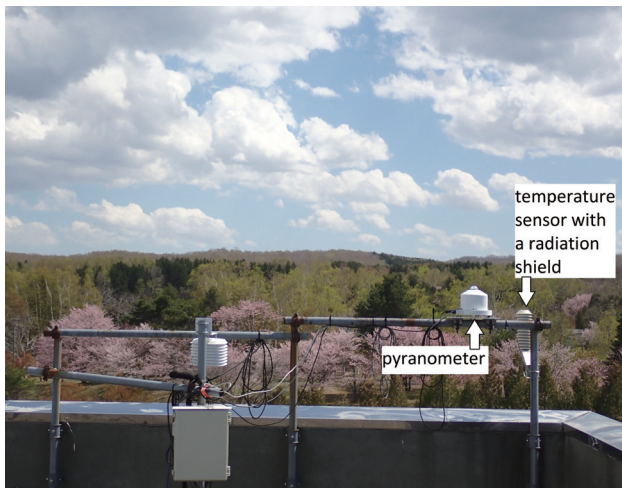


Photo 6. バックアップ用に運用している日射計とラジエーションシールドを用いた温度計
Pyranometer and temperature sensor covered with a radiation shield for data backup

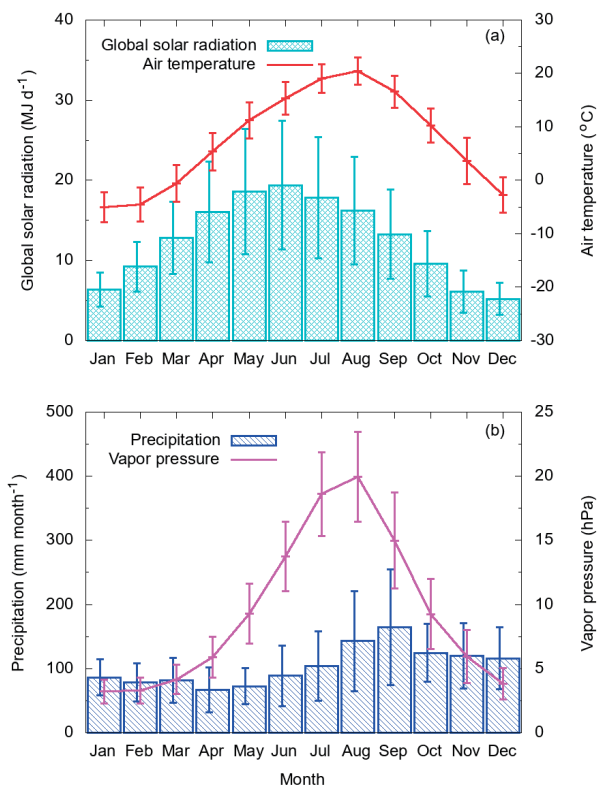


Fig. 2. 各要素の季節変化

Seasonal variations of meteorological elements

(a) 全天日射量および気温の月平均値、(b) 月降水量および月平均水蒸気圧。降水量を除くエラーバーは各月の日平均値の標準偏差、降水量のエラーバーは2007年～2018年の月降水量の標準偏差を表す。
(a) Monthly mean global solar radiation and air temperature, (b) monthly precipitation and mean vapor pressure. The standard deviation of daily data is shown by the error bars in radiation, temperature, and vapor pressure for each month. Precipitation error bars depict the standard deviation of monthly data for each month from 2007 to 2018.

海道支所本館建物屋上に設置した (Fig.1、Photo 6) ことから、バックアップセンサによるデータを補間のための参照データに追加した。

積雪深は、センサ設置場所が林内で正確な積雪深測定が難しく、林床はササに覆われているため、積雪開始、終了日の判別は難しい。また、2006年以降に用いている超音波式のセンサは、発信部の劣化に伴いノイズが多くなり欠測が多くなるため、連続測定ができない期間が多かったことから、参考値として年最深積雪のみ記載した。したがって、最深積雪の精度は他の要素の値より精度が低いことに留意する必要がある。

3. 結果

全天日射量、気温、水蒸気圧、降水量、風速、積雪深の1999年から2018年の観測データの年統計値をTable 3 (数値データ Table S1)、気温の詳細統計値をTable 4 (数値データ Table S2)、観測期間中の平均月統計値をTable 5 (数値データ Table S3)、積雪深を除く要素の各年月統計値をTable 6 (数値データ Table S4)に示す。表内のIndexは、欠測データの割合および補間の有無を示す。Table 4の気温極値は30分平均値から得られたものであり、1分毎の瞬時値から求められている気象庁のデータ (気象庁1998) とは差が生じることに留意する必要がある。また、全天日射量、気温、水蒸気圧の月平均値と月毎の日データの標準偏差、降水量の月平均値と月降水量の標準偏差をFig.2に、長期欠測のあった1999年、2004年、2005年および2018年を除く16年間の風速別風向分布をFig.3に、月毎、日中・夜間別の風向分布をFig.4に示す。さらに、

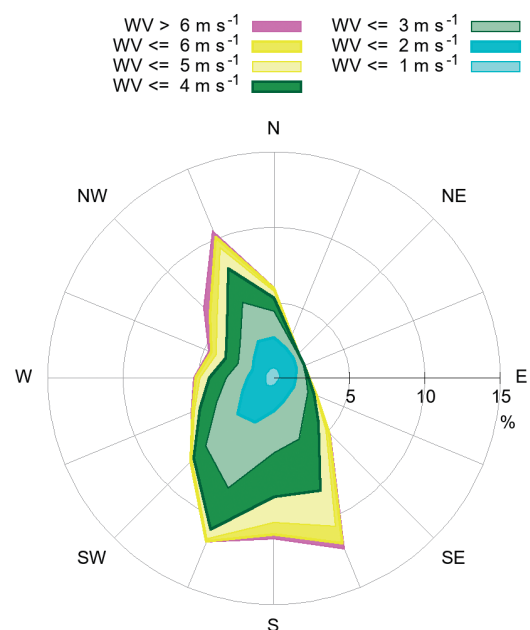


Fig. 3. 風速別風向頻度分布

Frequency distribution in wind direction according to wind velocity

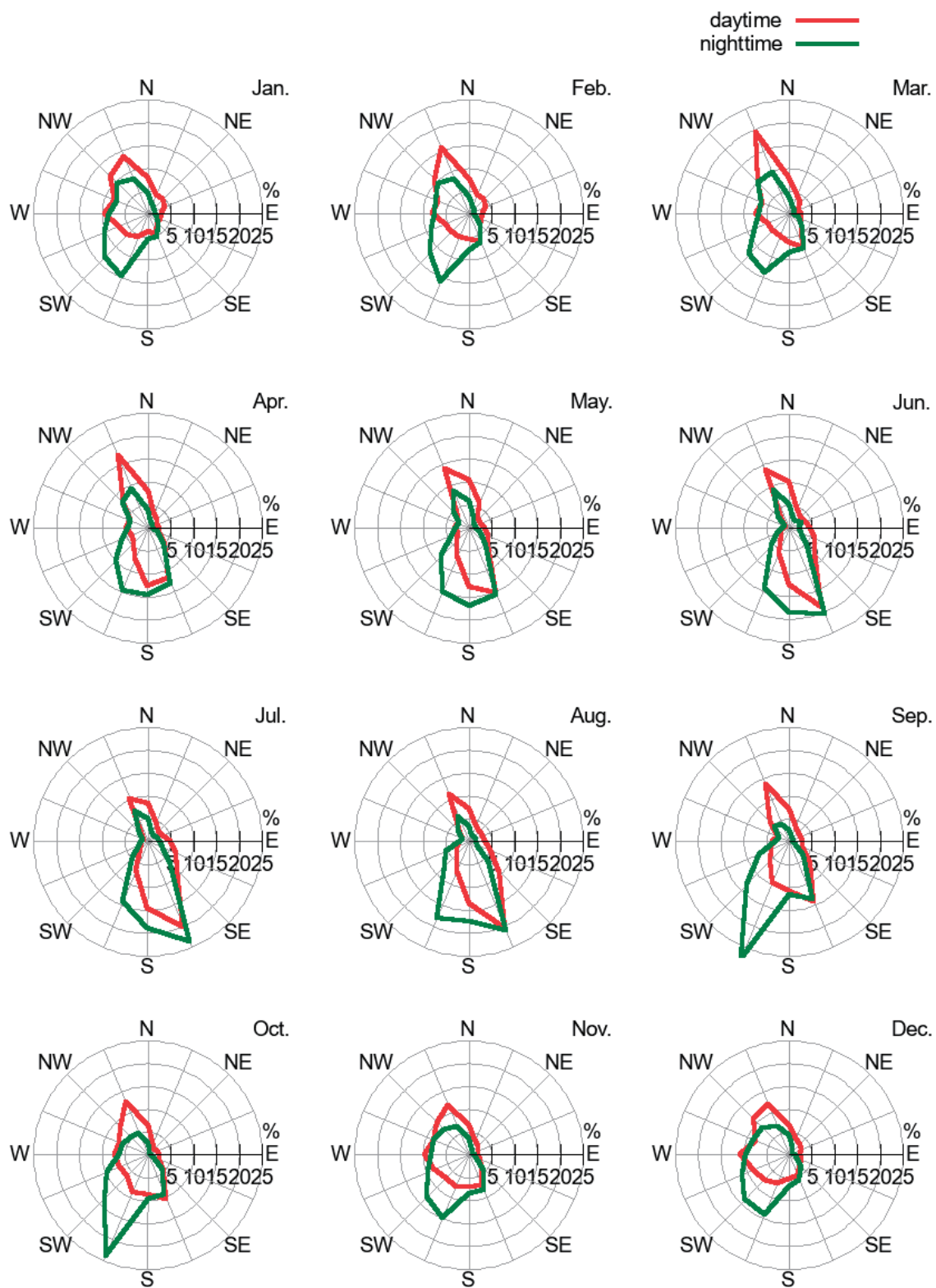


Fig. 4. 日中・夜間別の各月の風向頻度分布

Monthly frequency distribution in wind direction divided into daytime and nighttime

欠測補間後の全天日射量、気温、水蒸気圧、降水量の日データを電子補足資料 Table S5 に示す。

3.1 全天日射量

対象期間の年平均日射量 $12.6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Table 3)、月平均日射量は6月に最大で $19.4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 、12月に最小で $5.2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ であった (Fig.2a, Table 5)。対象期間で年間日射量が最大であった2014年は、4月の日射量が非常に多かった一方、月平均値が他の年と比べて極端に少ない月がなかった (Table 3、Table 6)。2014年は北海道内でも特に道央から道南にかけて日照時間が多かったことが報告されており (気象庁 2015)、当試験地でも同等の結果となった。年間日射量が最小の2009年は、月別の平均値を下回る月が8か月と年間の3分の2を占めた。特に7月の日射量は観測期間中の月平均値の約4分の3の値で、最小値を記録するなど非常に少なかった (Table 3、Table 6)。2009

年は記録的な梅雨明けの遅れにより全国的に夏季の天候不順が報告されているが (気象庁 2010)、当試験地でも同様に記録的に日射量が少ない年となった。

3.2 気温および水蒸気圧

対象期間の平均気温は 7.4°C 、平均水蒸気圧は 9.4 hPa であった。最高年平均気温は2010年の 8.0°C 、最低年平均気温は2001年の 6.6°C 、水蒸気圧も最高、最低それぞれ同じ年に記録し、それぞれ 10.3 hPa 、 8.8 hPa であった (Table 3)。月平均気温および水蒸気圧の最高は8月でそれぞれ 20.4°C 、 20.0 hPa 、最低は1月の -5.0°C 、 3.2 hPa であった (Fig.2, Table 5)。2010年は多くの月で高温、多湿であったが (Table 6)、全国的な傾向でもあった (気象庁 2011)。2001年は北日本では春を除いて低温の傾向にあり (気象庁 2002)、当試験地でも同様に多くの月で他の年より低温であった (Table 6)。年最高気温および年最低気温の最低

Table 3. 1999年から2018年までの年統計値
Annual meteorological data from 1999 to 2018

YEAR	Global solar radiation		Air temperature				Vapor pressure		Precipitation		Wind velocity			Snow depth*
	$\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$		$^{\circ}\text{C}$				hPa		mm		m s^{-1}			cm
	mean	index	mean	maximum of daily mean	minimum of daily mean	index	mean	index	sum	index	mean	maximum	index	maximum
1999	<i>NA</i>	9	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	9	<i>NA</i>	9	<i>NA</i>	9	<i>NA</i>	<i>NA</i>	9	<i>NA</i>
2000	12.1	1	7.3	27.7	-12.4	1	9.8	1	<i>NA</i>	9	2.8	11.0	6	137
2001	12.8	1	6.6	23.0	-13.0	2	8.8	2	<i>NA</i>	9	2.8	11.6	5	114
2002	12.5	1	7.2	22.3	-10.9	1	9.0	1	<i>NA</i>	9	2.9	12.5	5	83
2003	12.8	1	7.1	21.4	-12.3	1	8.8	1	<i>NA</i>	9	2.8	12.5	6	98
2004	12.2	2	7.9	26.2	-9.5	2	9.3	2	<i>NA</i>	9	<i>NA</i>	<i>NA</i>	9	113
2005	12.7	2	7.1	24.8	-10.3	2	9.1	2	<i>NA</i>	9	<i>NA</i>	<i>NA</i>	9	<i>NA</i>
2006	12.9	1	7.3	24.9	-10.6	1	9.1	1	<i>NA</i>	9	2.9	11.8	5	<i>NA</i>
2007	12.9	1	7.6	26.9	-7.1	1	9.6	1	1112.5	0	2.5	11.2	5	118
2008	12.9	1	7.7	23.7	-9.7	1	9.1	1	776.5	0	2.7	11.0	5	131
2009	<i>12.0</i>	1	7.5	22.8	-8.4	1	9.3	1	1155.5	0	2.7	11.6	5	117
2010	12.0	1	8.0	26.2	-12.9	1	10.3	1	1258.5	0	2.6	14.7	5	<i>NA</i>
2011	12.4	1	7.5	26.2	-10.7	1	9.5	1	1232.5	0	2.7	11.1	5	89
2012	12.8	1	7.5	25.8	-10.6	1	9.8	2	1365.0	0	2.7	10.9	5	100
2013	12.3	1	7.4	24.4	-10.4	1	10.1	1	1426.0	1	2.8	11.2	5	166
2014	13.2	0	7.4	24.5	-10.6	1	9.2	1	1291.0	0	2.9	11.0	5	121
2015	12.6	0	8.0	25.4	-8.6	1	9.4	1	1268.5	2	2.9	12.4	5	129
2016	12.7	1	7.3	24.1	-9.3	1	9.3	1	1365.5	1	2.9	16.1	5	141
2017	12.9	1	7.3	25.3	-10.9	1	9.0	1	1257.0	0	2.8	11.1	5	126
2018	12.3	2	7.7	25.4	-10.7	2	9.4	2	1447.0	0	<i>NA</i>	<i>NA</i>	9	<i>NA</i>
Average	12.6		7.4				9.4		1246.3		2.8			119
Maximum	13.2		8.0	27.7	-7.1		10.3		1447.0		2.9	16.1		166
Minimum	<i>12.0</i>		6.6	21.4	-13.0		8.8		776.5		2.5	10.9		83

太字は各要素の最大値、斜字は最小値を表す。

* 積雪深は欠測値を含むため参考値。

Index は欠測率とその後の処理方法を示す。0: 欠測無し、1: 欠測 10% 未満・欠測値は他の参照データから補間、2: 欠測 10% 以上・欠測値は他の参照データから補間、5: 欠測 5% 未満・補間無し、6: 欠測 5% 以上 10% 未満・補間無し、7: 欠測 10% 以上 15% 未満・補間無し、9: 欠測 85% 以上・補間無し。

The **bold** and *italic* letters represent the maximum and minimum values in each element, respectively.

* Snow depth is provided for reference because it includes missing data.

Indexes show the missing rate and data treatment methods. 0: no missing data, 1: missing rate less than 10% (missing data is filled with other data), 2: missing rate 10% or higher (missing data is filled with other data), 5: missing rate less than 5% (missing data is not filled), 6: missing rate 5% or higher but less than 10% (missing data is not filled), 7: missing rate 10% or higher but less than 15% (missing data is not filled), 9: missing rate 15% or higher (missing data is not filled)

値を 2001 年に記録しており、真冬日の日数も最多であるなど (Table 4)、年間を通じて気温の低い年であった。

3.3 降水量および積雪深

2007 年から 2018 年までの 12 年間の平均年降水量は 1447.0 mm (Table 3)、月平均降水量は 9 月が最多で 164.5 mm、最小は 4 月の 66.7 mm であった (Fig.2b、Table 5)。最も年降水量の少なかった 2008 年は、5 月を除いて各月の対象期間の月平均値を下回り、そのうち 5 か月は最小月降水量を記録した。最多年降水量を記録した 2018 年は、8 月は停滞前線等の影響による長雨 (気象庁 2019)、10 月には低気圧による大雨で降水量が非常に多かった (Table 3、Table 6)。

測定ができた年の最深積雪は 2013 年が最高だった (Table 3)。この年は、札幌気象管区气象台でも積雪の多い年であった (気象庁ホームページ <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>)。

3.4 風速および風向

風は南南東～南南西と北北西の風向が卓越し、南南東～南寄りでは 5 m s^{-1} 以上の強風の頻度が高かった (Fig.3)。

日中と夜間で卓越風は異なり、日中は 10 月から 4 月で北寄りの風が卓越した (Fig.4)。

Table 5. 1999 年から 2018 年までの月統計値の平均
Mean of monthly meteorological data from 1999 to 2018

MONTH	Global solar radiation $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	Air temperature $^{\circ}\text{C}$	Vapor pressure hPa	Precipitation mm	Wind velocity m s^{-1}
Jan	6.3	-5.0	3.2	86.4	2.6
Feb	9.2	-4.6	3.3	78.4	2.8
Mar	12.8	-0.6	4.2	81.6	3.0
Apr	16.1	5.4	5.9	66.7	3.3
May	18.6	11.2	9.3	72.7	3.1
Jun	19.4	15.3	13.7	88.8	2.7
Jul	17.8	19.1	18.6	104.1	2.6
Aug	16.3	20.4	20.0	142.9	2.6
Sep	13.3	16.6	15.0	164.5	2.6
Oct	9.6	10.2	9.3	124.6	2.8
Nov	6.2	3.6	5.9	119.7	2.7
Dec	5.2	-2.8	3.8	114.1	2.5

太字は各要素の最大値、斜字は最小値を表す。

The **bold** and *italic* letters represent the maximum and minimum values in each element, respectively.

Table 4. 気温の年極値および夏日・真夏日・冬日・真冬日の日数

Annual extreme air temperature values include the number of summer, hot summer, winter, and cold winter days

YEAR	Air temperature								index
	°C				number of days				
	daily mean		maximum	minimum	summer day	hot summer day	winter day	cold winter day	
	maximum	minimum							
1999	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	9
2000	10.5	4.2	33.1	-13.5	29	2	146	92	1
2001	<i>10.1</i>	<i>3.4</i>	<i>27.0</i>	<i>-18.5</i>	14	<i>0</i>	138	94	2
2002	10.5	4.2	27.6	-12.4	9	<i>0</i>	132	66	1
2003	10.4	3.8	27.0	-15.7	3	<i>0</i>	134	71	1
2004	11.6	4.3	30.2	-12.9	23	2	135	68	2
2005	10.6	3.7	29.7	-16.2	24	<i>0</i>	150	82	2
2006	10.4	4.3	30.4	-14.7	19	1	140	72	1
2007	10.8	4.5	31.6	-9.9	24	4	148	66	1
2008	11.1	4.5	27.3	-13.8	11	<i>0</i>	<i>123</i>	76	1
2009	10.7	4.5	28.2	-11.0	16	<i>0</i>	133	60	1
2010	11.2	5.0	29.6	-14.4	41	<i>0</i>	135	75	1
2011	10.8	4.4	30.2	-12.5	27	1	137	79	1
2012	10.6	4.5	30.3	-14.1	34	1	143	89	1
2013	10.5	4.5	29.3	-13.2	23	<i>0</i>	131	75	1
2014	10.8	4.2	30.2	-13.2	21	2	139	81	1
2015	11.2	5.0	30.5	-11.3	19	1	127	<i>48</i>	1
2016	10.4	4.2	27.7	-12.1	20	<i>0</i>	144	83	1
2017	10.5	4.1	30.6	-13.5	20	2	139	79	1
2018	11.0	4.6	29.9	-14.1	19	<i>0</i>	128	76	2
Average	10.7	4.3	29.5	-13.5	20.8	0.8	136.9	75.4	
Maximum	11.6	5.0	33.1	-9.9	41	4	150	94	
Minimum	<i>10.1</i>	<i>3.4</i>	<i>27.0</i>	<i>-18.5</i>	3	<i>0</i>	<i>123</i>	<i>48</i>	

夏日、真夏日、真冬日は日最高気温がそれぞれ、 25°C 以上 30°C 未満、 30°C 以上、 0°C 以下の日。冬日は日最低気温が 0°C 以下の日。

Index は Table 3 と同様、欠測率とその後の処理方法を示す。

Summer, hot summer, and cold winter days indicate that the daily maximum temperature was between 25°C and 30°C , higher than 30°C , and lower than 0°C , respectively. The daily minimum temperature was lower than 0°C on a winter day.

Indexes show the missing rate and data treatment method, such as in Table 3.

Table 6. 1999 年から 2018 年までの各年月統計値
Monthly meteorological data for each year from 1999 to 2018

YEAR	MONTH	Global solar radiation		Air temperature			Vapor pressure		Precipitation		Wind velocity			
		MJ m ² d ⁻¹		°C			hPa		mm		m s ⁻¹			
		mean	index	mean	maximum of daily mean	minimum of daily mean	index	mean	index	sum	index	mean	maximum	index
1999	Jan	NA	9	NA	NA	NA	9	NA	9	NA	9	NA	NA	9
1999	Feb	NA	9	NA	NA	NA	9	NA	9	NA	9	NA	NA	9
1999	Mar	NA	9	NA	NA	NA	9	NA	9	NA	9	NA	NA	9
1999	Apr	NA	9	NA	NA	NA	9	NA	9	NA	9	NA	NA	9
1999	May	NA	9	NA	NA	NA	9	NA	9	NA	9	NA	NA	9
1999	Jun	19.8	1	16.0	21.2	11.0	1	13.3	2	NA	9	3.0	9.0	6
1999	Jul	16.1	1	20.2	26.3	13.3	1	20.4	1	NA	9	2.6	7.3	5
1999	Aug	17.2	1	22.6	27.3	17.7	1	22.7	1	NA	9	2.7	7.1	5
1999	Sep	13.9	0	17.6	22.2	10.5	1	15.8	0	NA	9	2.9	11.8	5
1999	Oct	9.5	1	10.2	14.5	0.9	1	9.4	1	NA	9	3.0	9.6	5
1999	Nov	6.1	2	4.0	11.5	-5.7	2	5.3	2	NA	9	2.6	8.4	7
1999	Dec	5.5	0	-2.5	2.8	-8.1	1	3.8	0	NA	9	2.5	11.3	5
2000	Jan	6.3	0	-4.5	0.8	-12.4	0	3.5	0	NA	9	2.3	9.6	5
2000	Feb	9.7	1	-5.6	-2.4	-8.5	1	3.0	1	NA	9	2.0	8.5	5
2000	Mar	12.9	1	-1.5	6.1	-6.6	1	3.8	1	NA	9	3.2	9.3	5
2000	Apr	14.5	0	4.3	8.4	-0.0	1	6.1	0	NA	9	3.4	9.5	5
2000	May	16.1	1	12.3	18.6	7.5	1	10.9	1	NA	9	3.0	8.2	5
2000	Jun	18.7	0	14.9	20.7	9.3	1	13.8	0	NA	9	2.7	9.3	5
2000	Jul	16.3	0	20.3	27.3	16.9	0	20.3	0	NA	9	2.9	8.4	5
2000	Aug	17.9	1	21.8	27.7	18.6	1	21.2	1	NA	9	2.8	7.6	5
2000	Sep	10.5	0	16.7	21.5	13.2	1	15.9	0	NA	9	2.7	6.9	5
2000	Oct	10.1	0	9.9	15.6	3.9	1	8.7	1	NA	9	2.8	10.2	5
2000	Nov	6.4	2	2.4	10.7	-4.6	2	5.8	2	NA	9	NA	NA	9
2000	Dec	5.5	2	-4.1	2.0	-9.5	2	4.0	2	NA	9	NA	NA	9
2001	Jan	6.9	0	-7.3	-1.1	-12.8	1	2.6	0	NA	9	2.5	9.8	5
2001	Feb	9.4	1	-7.3	1.0	-13.0	1	2.5	1	NA	9	2.8	9.6	5
2001	Mar	13.5	0	-1.8	6.5	-10.6	2	3.7	2	NA	9	3.1	9.2	5
2001	Apr	17.5	0	6.5	15.3	-0.4	2	5.8	2	NA	9	3.5	11.3	5
2001	May	19.1	1	11.6	19.9	4.6	1	9.1	1	NA	9	2.8	8.6	5
2001	Jun	20.2	0	14.9	21.9	9.5	1	12.9	2	NA	9	2.6	7.9	5
2001	Jul	15.9	0	18.8	23.0	14.8	0	18.7	0	NA	9	2.8	9.4	5
2001	Aug	18.1	0	18.8	21.8	15.3	0	18.0	0	NA	9	2.9	8.2	5
2001	Sep	13.1	1	15.1	20.7	8.6	1	13.8	1	NA	9	2.7	8.4	5
2001	Oct	8.6	0	10.4	13.5	6.3	1	9.5	0	NA	9	2.8	9.4	5
2001	Nov	6.0	1	3.8	11.0	-5.7	1	5.6	1	NA	9	2.7	7.7	5
2001	Dec	5.4	1	-5.2	-0.7	-8.0	1	3.0	1	NA	9	2.6	11.6	5
2002	Jan	6.3	0	-4.0	3.3	-7.3	0	3.4	0	NA	9	2.5	9.0	5
2002	Feb	10.0	0	-2.0	4.0	-8.0	1	3.8	0	NA	9	2.7	10.9	5
2002	Mar	12.2	0	0.7	5.8	-6.1	1	4.3	0	NA	9	3.1	10.6	5
2002	Apr	16.8	1	7.5	12.5	3.7	1	6.7	1	NA	9	3.6	12.5	5
2002	May	20.5	2	11.7	15.7	8.5	2	8.9	2	NA	9	2.9	10.1	7
2002	Jun	20.6	1	13.7	19.6	9.2	1	12.3	2	NA	9	3.0	7.8	5
2002	Jul	15.8	0	18.7	21.8	13.7	1	18.9	1	NA	9	2.9	7.5	5
2002	Aug	12.4	0	18.1	22.3	14.4	0	18.3	0	NA	9	3.0	8.0	5
2002	Sep	14.1	1	15.5	22.1	11.0	1	13.7	1	NA	9	2.7	8.3	5
2002	Oct	9.8	0	10.2	18.6	2.3	1	9.4	0	NA	9	2.9	10.8	5
2002	Nov	5.6	1	1.1	7.3	-3.8	1	5.1	1	NA	9	2.8	10.1	5
2002	Dec	5.4	0	-4.8	4.7	-10.9	1	3.1	0	NA	9	2.5	8.8	5
2003	Jan	6.4	0	-5.2	1.1	-12.3	0	3.2	0	NA	9	2.7	11.4	5
2003	Feb	9.1	0	-5.1	0.9	-8.3	0	3.3	0	NA	9	2.2	9.6	5
2003	Mar	13.4	0	-0.9	7.0	-8.5	0	4.0	0	NA	9	3.0	11.2	5
2003	Apr	14.9	0	6.5	11.3	-0.1	1	6.4	0	NA	9	3.1	9.2	5
2003	May	20.0	0	11.1	17.6	4.9	1	8.9	0	NA	9	3.3	9.2	5
2003	Jun	20.0	0	15.3	20.1	11.5	1	13.5	0	NA	9	3.0	11.5	5
2003	Jul	19.7	1	15.4	18.3	12.8	1	14.1	1	NA	9	3.1	9.4	6
2003	Aug	15.7	0	18.6	21.4	16.2	1	18.2	0	NA	9	2.6	7.6	5
2003	Sep	13.0	0	15.6	20.1	11.7	0	14.3	0	NA	9	2.6	12.5	5
2003	Oct	9.7	0	9.9	14.0	6.0	0	9.2	0	NA	9	2.6	8.7	5
2003	Nov	6.3	1	4.6	14.7	-2.8	1	6.4	1	NA	9	2.5	9.1	5
2003	Dec	5.1	2	-1.6	2.5	-6.1	2	4.0	2	NA	9	NA	NA	9

太字は月毎の各要素の最大値、斜字は最小値を表す。Index は Table 3 と同様、欠測率とその後の処理方法を示す。

The **bold** and *italic* letters represent the maximum and minimum values, respectively, during the observation period in each month for each element. Indexes show the missing rate and data treatment method, such as in Table 3.

Table 6. 1999 年から 2018 年までの各年月統計値 (つづき)

Monthly meteorological data for each year from 1999 to 2018 (Continued)

YEAR	MONTH	Global solar radiation		Air temperature				Vapor pressure		Precipitation		Wind velocity		
		MJ m ⁻² d ⁻¹		°C				hPa		mm		m s ⁻¹		
		mean	index	mean	maximum of daily mean	minimum of daily mean	index	mean	index	sum	index	mean	maximum	index
2004	Jan	5.9	2	-4.2	-0.1	-7.9	2	3.4	2	NA	9	NA	NA	9
2004	Feb	8.7	0	-2.9	1.3	-6.5	0	3.8	0	NA	9	NA	NA	9
2004	Mar	12.7	1	-1.1	5.2	-7.9	1	4.1	1	NA	9	2.4	9.8	5
2004	Apr	15.9	0	4.6	11.3	-2.3	1	5.1	0	NA	9	NA	NA	9
2004	May	17.0	0	12.1	18.9	6.0	0	9.7	0	NA	9	NA	NA	9
2004	Jun	19.9	2	16.6	20.5	12.4	2	13.5	2	NA	9	NA	NA	9
2004	Jul	17.4	2	19.5	26.2	13.8	2	18.9	2	NA	9	NA	NA	9
2004	Aug	15.6	0	19.7	25.7	15.2	0	18.4	0	NA	9	NA	NA	9
2004	Sep	12.6	2	16.3	21.1	13.6	2	14.2	2	NA	9	NA	NA	9
2004	Oct	9.6	2	10.8	17.1	1.2	2	9.5	2	NA	9	NA	NA	9
2004	Nov	6.3	2	5.8	14.9	-4.0	2	7.1	2	NA	9	NA	NA	9
2004	Dec	4.8	2	-2.5	5.3	-9.5	2	3.9	2	NA	9	NA	NA	9
2005	Jan	6.3	2	-5.3	2.7	-10.3	2	3.1	2	NA	9	NA	NA	9
2005	Feb	9.4	2	-5.8	-0.6	-9.2	2	2.9	2	NA	9	NA	NA	9
2005	Mar	13.0	2	-1.5	3.9	-8.0	2	3.8	2	NA	9	NA	NA	9
2005	Apr	14.5	2	4.3	10.7	-1.1	2	5.8	2	NA	9	NA	NA	9
2005	May	17.6	2	9.0	16.4	3.3	2	8.0	2	NA	9	NA	NA	9
2005	Jun	20.3	1	16.7	23.7	11.1	1	14.1	1	NA	9	2.9	8.2	5
2005	Jul	16.9	0	18.1	23.5	12.9	0	17.2	0	NA	9	2.5	8.4	5
2005	Aug	17.8	0	21.4	24.8	17.7	0	20.5	0	NA	9	2.8	7.8	5
2005	Sep	13.0	0	16.8	22.0	13.1	1	14.6	0	NA	9	2.6	8.3	5
2005	Oct	10.4	0	11.5	16.5	5.3	0	9.5	0	NA	9	2.7	8.8	5
2005	Nov	6.7	1	4.0	12.8	-0.5	1	6.0	1	NA	9	2.8	9.5	5
2005	Dec	5.9	0	-4.3	-0.4	-7.5	0	3.1	0	NA	9	2.6	9.2	5
2006	Jan	6.2	0	-5.8	-1.4	-10.6	0	3.0	0	NA	9	2.8	8.3	5
2006	Feb	8.6	0	-4.4	3.1	-10.4	0	3.3	0	NA	9	3.0	11.8	5
2006	Mar	12.6	0	-0.6	3.1	-6.9	0	4.2	0	NA	9	3.6	10.3	5
2006	Apr	14.7	0	3.1	9.3	-1.1	0	5.4	0	NA	9	3.3	9.1	5
2006	May	19.3	0	11.2	16.6	3.0	1	7.9	0	NA	9	3.2	9.2	5
2006	Jun	17.1	0	<i>13.6</i>	<i>17.8</i>	9.5	0	12.8	0	NA	9	2.9	7.6	5
2006	Jul	20.6	1	18.4	22.8	15.2	1	16.5	1	NA	9	2.6	6.8	5
2006	Aug	18.8	0	22.0	24.9	17.7	0	21.8	0	NA	9	2.8	7.1	5
2006	Sep	14.4	0	16.2	20.3	12.6	0	14.2	0	NA	9	2.6	9.0	5
2006	Oct	10.4	0	10.0	16.2	2.5	0	9.0	0	NA	9	2.8	9.2	5
2006	Nov	5.7	1	4.6	13.1	-2.3	1	6.5	1	NA	9	2.7	10.0	5
2006	Dec	5.5	0	-2.0	3.4	-5.5	0	4.2	0	91.0	0	2.2	6.9	5
2007	Jan	5.8	1	-3.4	1.4	-7.1	1	4.0	1	114.0	0	2.4	11.2	5
2007	Feb	8.5	0	-3.1	1.4	-6.8	0	4.1	0	94.0	0	2.8	9.8	5
2007	Mar	12.6	1	-1.0	6.6	-5.8	1	4.6	1	86.5	0	2.8	9.0	5
2007	Apr	16.8	0	4.2	10.1	-0.1	0	6.2	0	55.0	0	2.7	8.2	5
2007	May	17.9	0	10.7	17.1	7.1	0	10.1	0	135.5	0	2.8	8.7	5
2007	Jun	22.4	0	16.8	21.1	12.0	0	15.9	0	64.0	0	2.4	7.9	5
2007	Jul	21.4	0	17.2	22.2	13.5	0	15.9	0	57.5	0	2.8	7.4	5
2007	Aug	15.8	0	21.4	26.9	16.8	0	20.4	0	64.5	0	2.2	7.6	5
2007	Sep	11.5	0	17.0	23.6	11.6	0	16.0	0	213.5	0	2.3	7.2	5
2007	Oct	10.0	0	9.9	14.8	5.1	0	9.1	0	81.0	0	2.5	7.5	5
2007	Nov	6.7	1	2.6	10.5	-5.7	1	5.1	1	67.0	0	2.5	8.9	5
2007	Dec	5.4	0	-2.4	2.1	-6.0	0	3.8	0	80.0	0	2.1	6.5	5
2008	Jan	6.5	0	-6.2	-2.4	-9.7	0	2.8	0	65.5	0	2.3	7.9	5
2008	Feb	9.4	0	-5.1	1.7	-9.2	0	3.1	0	90.5	0	3.0	10.3	5
2008	Mar	13.1	0	1.8	6.6	-3.8	0	4.8	0	25.5	0	2.5	7.9	5
2008	Apr	16.7	0	7.7	14.0	1.1	1	6.1	0	9.5	0	3.0	9.9	5
2008	May	18.1	0	10.3	18.1	3.1	0	9.3	0	106.0	0	3.1	8.3	5
2008	Jun	20.0	0	15.1	18.9	7.8	0	13.1	0	53.5	0	2.2	7.1	5
2008	Jul	17.3	0	19.2	23.7	16.5	0	18.6	0	55.5	0	2.7	6.9	5
2008	Aug	16.7	0	18.9	22.4	14.1	0	<i>17.3</i>	0	76.0	0	2.5	6.3	5
2008	Sep	15.4	0	17.0	21.5	8.7	0	14.3	0	<i>24.0</i>	0	2.6	8.1	5
2008	Oct	9.2	0	11.1	16.1	3.9	0	9.3	0	123.5	0	2.7	8.1	5
2008	Nov	7.1	1	3.0	12.2	-5.3	1	5.4	1	84.5	0	2.6	8.9	5
2008	Dec	4.7	0	-0.8	6.7	-8.2	1	4.7	0	62.5	0	2.7	11.0	5

太字は月毎の各要素の最大値、斜字は最小値を表す。Index は Table 3 と同様、欠測率とその後の処理方法を示す。

The **bold** and *italic* letters represent the maximum and minimum values, respectively, during the observation period in each month for each element. Indexes show the missing rate and data treatment method, such as in Table 3.

Table 6. 1999 年から 2018 年までの各年月統計値（つづき）

Monthly meteorological data for each year from 1999 to 2018 (Continued)

YEAR	MONTH	Global solar radiation		Air temperature				Vapor pressure		Precipitation		Wind velocity		
		MJ m ⁻² d ⁻¹		°C				hPa		mm		m s ⁻¹		
		mean	index	mean	maximum of daily mean	minimum of daily mean	index	mean	index	sum	index	mean	maximum	index
2009	Jan	6.1	0	-3.0	2.5	-7.4	0	3.8	0	98.5	0	2.5	10.4	5
2009	Feb	7.8	0	-4.0	3.5	-8.4	0	3.5	0	129.0	0	3.0	10.9	5
2009	Mar	12.1	0	-0.3	5.1	-5.4	0	4.4	0	69.5	0	3.1	10.3	5
2009	Apr	18.1	0	5.6	15.1	0.3	0	5.6	0	58.0	0	3.0	9.3	5
2009	May	19.9	0	12.0	18.2	6.0	0	9.1	0	<i>40.5</i>	0	3.1	11.6	5
2009	Jun	17.0	1	15.2	21.0	10.7	1	14.2	1	72.5	0	2.7	7.0	5
2009	Jul	<i>13.5</i>	0	17.7	20.9	14.6	0	18.2	0	211.0	0	<i>2.0</i>	6.9	5
2009	Aug	15.8	0	19.3	22.8	15.8	0	18.8	0	<i>56.0</i>	0	2.3	7.0	5
2009	Sep	14.5	0	15.6	<i>18.3</i>	11.0	1	13.7	0	49.5	0	2.6	6.8	5
2009	Oct	8.8	0	10.5	15.9	2.3	0	9.4	0	123.5	0	2.8	8.0	5
2009	Nov	5.2	2	3.4	12.5	-1.4	2	6.3	2	132.0	0	2.4	8.8	7
2009	Dec	5.4	0	-2.5	3.4	-6.9	0	3.9	0	115.5	0	2.5	9.1	5
2010	Jan	5.7	0	-3.8	1.1	-9.1	0	3.6	0	84.0	0	2.6	10.2	5
2010	Feb	9.4	0	-5.0	4.6	-12.9	0	3.3	0	47.5	0	2.8	9.9	5
2010	Mar	12.6	0	-2.0	3.7	-6.1	0	3.9	0	71.0	0	2.9	14.7	5
2010	Apr	<i>13.9</i>	0	3.5	7.3	0.0	0	5.6	0	112.5	0	3.3	11.8	5
2010	May	18.7	0	10.4	15.9	5.6	0	9.0	0	47.0	0	3.0	9.8	5
2010	Jun	21.0	0	17.5	24.4	9.9	0	16.4	0	58.0	0	<i>2.1</i>	7.2	5
2010	Jul	13.7	0	20.4	24.5	16.3	0	21.6	0	121.0	0	2.1	8.2	5
2010	Aug	15.1	0	22.7	26.2	20.6	0	23.0	0	156.5	0	2.2	7.0	5
2010	Sep	14.6	0	17.6	24.6	9.3	0	15.9	0	107.0	0	2.6	9.0	5
2010	Oct	9.4	0	10.4	15.6	1.6	0	10.0	0	117.5	0	2.6	8.6	5
2010	Nov	5.7	1	4.3	11.0	-4.1	1	6.4	1	199.5	0	2.7	9.1	5
2010	Dec	<i>4.2</i>	1	-1.2	9.6	-8.3	1	4.5	1	137.0	0	2.7	13.4	5
2011	Jan	7.1	0	-5.6	-2.0	-10.7	0	2.9	0	71.5	0	2.6	8.9	5
2011	Feb	9.8	0	-2.6	3.8	-6.8	0	3.7	0	60.5	0	2.8	<i>8.0</i>	5
2011	Mar	13.8	0	-1.4	4.2	-6.3	0	3.7	0	62.5	0	2.8	<i>7.7</i>	5
2011	Apr	15.7	0	5.1	11.3	-1.5	0	5.9	0	85.5	0	3.2	11.1	5
2011	May	16.1	0	9.3	<i>14.8</i>	3.2	0	8.9	0	61.5	0	2.9	8.9	5
2011	Jun	18.1	0	15.4	21.8	9.6	0	13.9	0	<i>39.5</i>	0	2.6	<i>6.8</i>	5
2011	Jul	18.6	0	19.9	23.0	16.3	0	19.4	0	134.5	0	2.3	7.8	5
2011	Aug	17.5	0	21.2	26.2	17.7	0	19.9	0	96.5	0	2.4	<i>6.0</i>	5
2011	Sep	10.7	0	17.1	23.1	11.6	0	16.1	0	285.0	0	2.6	7.8	5
2011	Oct	9.2	0	10.5	15.2	5.1	1	9.4	1	156.5	0	2.8	8.6	5
2011	Nov	6.6	1	4.6	11.9	-4.8	1	6.2	1	72.5	0	2.7	10.1	5
2011	Dec	5.5	0	-3.8	1.4	-7.6	0	3.5	0	106.5	0	2.7	9.2	5
2012	Jan	7.0	0	-6.3	-1.0	-10.2	0	2.8	0	62.5	0	2.7	7.8	5
2012	Feb	9.6	0	-6.2	-0.7	-10.6	0	2.8	0	45.5	0	2.8	9.3	5
2012	Mar	12.6	0	-1.7	7.6	-6.8	0	3.9	2	41.0	0	2.7	9.4	5
2012	Apr	15.8	0	5.1	14.5	-3.2	1	6.1	0	48.5	0	3.2	10.9	5
2012	May	19.4	0	11.1	16.0	4.6	0	9.7	2	105.0	0	2.9	10.1	5
2012	Jun	21.2	1	15.4	20.5	10.9	1	12.8	2	43.0	0	2.4	7.4	5
2012	Jul	19.9	0	19.6	24.8	14.8	0	18.4	2	72.5	0	2.4	<i>6.6</i>	5
2012	Aug	15.1	0	21.3	25.8	17.9	1	20.9	2	104.5	0	2.4	6.3	5
2012	Sep	13.1	2	20.1	24.1	13.9	2	19.1	2	275.5	0	2.5	5.8	7
2012	Oct	9.7	0	11.1	16.0	6.3	0	10.1	1	132.5	0	2.8	8.3	5
2012	Nov	5.2	1	3.8	9.6	-2.5	1	6.7	1	228.0	0	2.6	10.7	5
2012	Dec	5.0	1	-3.8	4.1	-10.1	1	3.6	1	206.5	0	2.7	10.6	5
2013	Jan	6.7	0	-6.4	-1.9	-10.4	1	3.0	0	88.0	1	2.7	8.7	5
2013	Feb	9.6	0	-5.5	0.4	-8.8	0	3.2	0	88.5	2	2.7	10.2	5
2013	Mar	<i>11.7</i>	0	-1.4	3.6	-7.2	0	4.2	0	111.5	0	3.3	11.2	5
2013	Apr	14.3	0	4.4	9.6	1.2	0	6.0	0	134.5	0	3.3	10.4	5
2013	May	<i>15.5</i>	0	9.4	19.2	2.5	0	9.5	0	66.5	0	3.1	8.4	5
2013	Jun	22.4	0	15.7	18.9	10.9	0	14.9	0	99.0	0	2.5	6.9	5
2013	Jul	19.8	0	20.1	24.1	16.2	0	20.3	0	75.5	0	2.6	7.7	5
2013	Aug	14.7	0	20.9	24.4	17.0	0	23.2	0	192.0	0	2.6	6.7	5
2013	Sep	12.2	1	16.5	21.3	10.4	2	15.5	2	211.0	0	<i>NA</i>	<i>NA</i>	9
2013	Oct	9.0	1	11.0	17.5	4.1	1	10.4	1	134.5	0	2.7	9.4	0
2013	Nov	6.5	0	4.6	11.3	-2.0	0	6.1	0	119.5	0	2.7	9.6	0
2013	Dec	5.0	0	-1.1	5.8	-5.7	1	4.3	1	105.5	0	2.5	9.6	0

太字は月毎の各要素の最大値、斜字は最小値を表す。Index は Table 3 と同様、欠測率とその後の処理方法を示す。

The **bold** and *italic* letters represent the maximum and minimum values, respectively, during the observation period in each month for each element. Indexes show the missing rate and data treatment method, such as in Table 3.

Table 6. 1999 年から 2018 年までの各年月統計値 (つづき)

Monthly meteorological data for each year from 1999 to 2018 (Continued)

YEAR	MONTH	Global solar radiation		Air temperature				Vapor pressure		Precipitation		Wind velocity		
		MJ m ⁻² d ⁻¹		°C				hPa		mm		m s ⁻¹		
		mean	index	mean	maximum of daily mean	minimum of daily mean	index	mean	index	sum	index	mean	maximum	index
2014	Jan	6.2	0	-5.8	0.3	-9.9	0	3.0	0	100.0	0	2.9	9.0	0
2014	Feb	9.9	0	-5.3	1.6	-10.6	0	3.1	0	85.0	0	3.1	9.2	0
2014	Mar	13.2	0	-1.2	7.1	-8.1	1	4.0	1	74.0	0	2.9	9.3	5
2014	Apr	19.8	0	5.4	16.1	-0.6	0	4.9	0	32.0	0	3.4	9.9	0
2014	May	18.9	0	12.0	19.5	5.2	0	9.8	0	72.0	0	3.2	9.0	0
2014	Jun	19.0	0	16.4	23.2	12.8	0	14.9	0	94.5	0	2.7	7.4	0
2014	Jul	19.8	0	20.2	24.3	17.4	0	18.6	0	68.0	0	2.7	8.8	0
2014	Aug	15.8	0	20.0	24.5	15.1	0	19.3	0	246.0	0	2.6	8.5	0
2014	Sep	14.8	0	15.7	20.8	10.8	1	13.8	0	199.0	0	2.9	7.5	0
2014	Oct	9.5	0	9.4	15.2	2.7	0	8.4	0	116.0	0	2.9	8.5	0
2014	Nov	6.1	0	4.4	13.0	-2.1	1	6.0	1	76.0	0	2.9	11.0	5
2014	Dec	5.1	0	-3.3	6.9	-8.5	0	3.6	0	128.5	0	2.8	8.5	5
2015	Jan	6.5	0	-3.4	-0.2	-7.4	0	3.7	0	149.0	0	3.1	12.4	0
2015	Feb	8.4	0	-2.9	2.5	-8.6	0	3.7	0	80.5	0	3.4	11.0	5
2015	Mar	12.0	0	2.0	9.1	-2.1	1	5.0	1	145.0	0	3.0	9.7	5
2015	Apr	17.2	0	6.6	17.2	-0.4	0	6.3	0	91.5	0	3.4	11.4	0
2015	May	21.1	0	12.2	17.9	6.4	0	8.7	0	45.0	0	3.5	10.0	0
2015	Jun	17.6	0	14.4	18.5	8.3	0	13.4	0	61.0	0	2.7	7.2	0
2015	Jul	17.7	0	19.1	23.7	13.3	0	18.6	0	57.0	0	2.4	7.3	0
2015	Aug	16.2	0	19.9	25.4	16.2	1	19.7	0	105.5	0	2.4	6.7	0
2015	Sep	12.8	0	16.0	20.7	10.3	0	14.7	0	206.0	0	2.5	7.8	0
2015	Oct	9.8	0	8.9	<i>13.2</i>	1.7	1	7.9	1	113.5	0	3.4	11.5	0
2015	Nov	6.5	0	3.5	12.5	-3.2	1	5.9	1	131.0	2	<i>2.4</i>	7.2	0
2015	Dec	5.3	0	-0.8	5.9	-8.6	0	4.3	0	83.5	2	2.5	8.7	0
2016	Jan	6.5	0	-5.5	0.0	-9.3	1	2.9	1	<i>36.0</i>	2	2.3	7.5	5
2016	Feb	8.9	0	-4.2	3.7	-9.2	0	3.4	0	126.0	0	2.9	8.9	0
2016	Mar	12.9	1	0.2	7.7	-5.5	1	4.3	1	70.5	0	3.2	16.1	0
2016	Apr	15.4	2	5.6	12.1	-0.1	2	5.8	2	62.0	0	3.5	11.3	0
2016	May	20.2	1	12.9	19.5	4.4	1	9.4	1	64.5	0	3.4	11.1	5
2016	Jun	<i>16.8</i>	0	14.0	19.5	8.4	0	13.3	0	144.0	0	3.1	8.2	5
2016	Jul	19.6	0	18.3	22.9	13.7	0	18.0	0	131.5	0	3.2	7.3	0
2016	Aug	18.0	0	21.5	24.1	17.6	0	21.4	0	258.0	0	2.6	10.5	0
2016	Sep	13.4	0	17.0	23.2	12.2	0	16.1	0	95.5	0	2.5	6.4	0
2016	Oct	9.7	0	8.7	17.0	<i>0.7</i>	0	7.8	0	<i>61.0</i>	0	3.1	9.4	0
2016	Nov	5.6	0	<i>0.4</i>	8.8	-7.1	0	4.7	0	108.5	0	2.7	9.1	5
2016	Dec	4.9	0	-2.5	6.3	-8.2	0	3.9	0	208.0	0	2.5	10.0	6
2017	Jan	5.8	0	-5.4	-0.2	-10.9	0	3.1	0	80.0	0	<i>2.1</i>	9.7	0
2017	Feb	8.9	0	-3.8	1.2	-9.9	0	3.4	0	53.0	0	3.1	8.9	0
2017	Mar	14.3	0	-0.4	3.1	-4.2	0	4.1	0	84.0	0	3.0	9.2	0
2017	Apr	16.7	0	5.9	12.3	-0.8	0	5.9	0	73.0	0	3.5	9.0	0
2017	May	19.0	0	12.6	18.2	7.1	0	9.7	0	64.5	0	2.9	8.6	0
2017	Jun	18.0	0	13.9	20.6	6.9	0	12.6	0	188.5	0	2.6	7.3	0
2017	Jul	18.9	0	20.8	25.3	16.2	0	19.7	0	70.0	0	2.4	7.0	0
2017	Aug	17.3	0	19.2	22.8	14.7	0	17.8	0	95.0	0	2.7	6.9	0
2017	Sep	14.1	0	15.5	18.8	10.0	0	<i>13.4</i>	0	235.0	0	2.7	8.1	0
2017	Oct	9.3	0	9.3	15.4	3.6	0	8.5	0	93.5	0	2.9	9.8	0
2017	Nov	6.2	0	2.8	12.5	-5.7	0	5.6	0	138.5	0	3.0	9.9	0
2017	Dec	5.7	2	-3.6	2.3	-8.2	2	3.5	2	82.0	0	2.4	11.1	5
2018	Jan	6.3	2	-4.3	1.3	-9.6	2	3.3	2	87.5	0	2.6	9.3	5
2018	Feb	10.0	0	-5.8	0.1	-10.7	0	2.8	0	<i>41.0</i>	0	2.5	8.3	0
2018	Mar	12.8	0	0.8	9.6	-6.5	0	4.5	0	138.0	0	3.4	9.9	5
2018	Apr	15.9	0	6.4	15.7	-0.2	0	5.9	0	38.5	0	3.0	8.2	5
2018	May	18.6	0	11.6	18.2	6.3	0	9.4	0	64.0	0	2.7	<i>8.1</i>	0
2018	Jun	17.6	0	14.6	21.6	7.5	0	13.1	0	147.5	0	3.1	8.3	0
2018	Jul	17.5	0	19.5	25.4	<i>11.8</i>	0	19.8	0	195.0	0	2.4	8.0	0
2018	Aug	13.6	2	19.1	24.0	<i>13.8</i>	2	18.5	2	264.0	0	2.5	7.0	0
2018	Sep	13.9	2	16.4	22.1	12.5	2	14.5	2	73.0	0	<i>NA</i>	<i>NA</i>	9
2018	Oct	9.8	2	11.1	15.7	4.8	2	10.6	2	242.5	0	<i>NA</i>	<i>NA</i>	9
2018	Nov	6.7	2	4.8	12.0	-3.0	2	6.3	2	79.0	0	<i>NA</i>	<i>NA</i>	9
2018	Dec	4.8	2	-2.3	8.4	-8.7	2	3.9	2	77.0	0	<i>NA</i>	<i>NA</i>	9

太字は月毎の各要素の最大値、斜字は最小値を表す。Index は Table 3 と同様、欠測率とその後の処理方法を示す。

The **bold** and *italic* letters represent the maximum and minimum values, respectively, during the observation period in each month for each element. Indexes show the missing rate and data treatment method, such as in Table 3.

謝 辞

観測の一部は環境省地球環境保全試験研究費「アジア陸域炭素循環観測のための長期生態系モニタリングとデータのネットワーク化促進に関する研究」、「センサーネットワーク化と自動解析化による陸域生態系の炭素循環変動把握の精緻化に関する研究」、JSPS 科研費 JP16K07789、(国研) 森林研究・整備機構森林総合研究所交付金プロジェクト(課題番号 201802)によって行った。補間に用いた気象データは、北海道農業研究センターから露場の気象データの提供を受ける (<http://www.naro.affrc.go.jp/harc/kisyo/index.html>) とともに、気象庁のホームページ (<https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>) から取得した。札幌森林気象試験地の初期の観測は、森林総合研究所北村兼三氏、元森林総合研究所中井裕一郎氏を中心として行われた。観測施設整備開始時からこれまでの観測期間中、森林総合研究所および同北海道支所のスタッフをはじめ、多くの方から支援と助力を頂いた。これらの方々に深く感謝の意を表します。

引用文献

- 気象庁 (1998) 気象観測の手引き . 気象庁 , 127pp.
 気象庁 (2002) 気候変動監視レポート 2001. 気象庁 , 78pp.
 気象庁 (2010) 気候変動監視レポート 2009. 気象庁 , 90pp.
 気象庁 (2011) 気候変動監視レポート 2010. 気象庁 , 97pp.
 気象庁 (2015) 気候変動監視レポート 2014. 気象庁 , 70pp.
 気象庁 (2019) 気候変動監視レポート 2018. 気象庁 , 87pp.
 溝口 康子・山野井 克己 (2015) 羊ヶ丘実験林における降水量の測定誤差—測器の違いによる影響—. 森林総合研究所研究報告 , 14(3), 145–146.
 溝口 康子・山野井 克己・北村 兼三・中井 裕一郎・鈴木 寛 (2014) 札幌森林気象試験地の気象 (1999～2008) 年 . 森林総合研究所研究報告 , 13(4), 193–206.
 溝口 康子・山野井 克己・宇都木 玄 (2021) 老齢シラカンバを含む落葉広葉樹林の枯死率の変化—個体数および現存量をもとにした枯死率の違い—. 日林誌 , 103, 291–296.
 森林総合研究所北海道支所 (1998) 羊ヶ丘実験林施行計画 (第4次). 森林総合研究所北海道支所 , 44pp.

補足電子資料

以下はオンライン版のみの掲載となります。

<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/bulletin/464/index.html>

Table S1. 1999 年から 2018 年までの年統計値 (Table 3 の数値データファイル)

Annual meteorological data from 1999 to 2018 (numerical file of Table 3)

Table S2. 気温の年極値および夏日・真夏日・冬日・真冬日の日数 (Table 4 の数値データファイル)

Annual extreme air temperature values include the number of summer, hot summer, winter and cold winter days (numerical file of Table 4)

Table S3. 1999 年から 2018 年までの月統計値の平均 (Table 5 の数値データファイル)

Mean of monthly meteorological data from 1999 to 2018 (numerical file of Table 5)

Table S4. 1999 年から 2018 年までの各年月統計値 (Table 6 の数値データファイル)

Monthly meteorological data for each year from 1999 to 2018 (numerical file of Table 6)

Table S5. 日全天日射量、日平均気温、日平均水蒸気圧および日降水量

Daily global solar radiation, daily mean air temperature, daily mean vapor pressure and daily precipitation

Meteorological observations from 1999 to 2018 at the Sapporo forest meteorology research site, Hokkaido, Japan

Yasuko MIZOGUCHI^{1)*} and Katsumi YAMANOI¹⁾

Abstract

Since 1999, we have conducted meteorological observations in a deciduous broadleaf forest in Sapporo, Japan. In this article, we present observation results for a 20-year period between 1999 and 2018. The observation was halted between September, 2004 and May 2005, and again from September, 2018 onward due to typhoon damage to the facilities. The mean global radiation, air temperature, and vapor pressure were $12.6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, 7.4°C , and 9.4 hPa , respectively. The maximum frequency of wind direction was south–southwest, with a mean wind velocity was 2.8 m s^{-1} . The mean annual precipitation from 2007 to 2018 was 1246 mm .

Key words : global solar radiation, air temperature, vapor pressure, precipitation, wind velocity, wind direction, Sapporo forest meteorological research site

Received 2 June 2022, Accepted 28 July 2022

1) Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

* Hokkaido Research Center, FFPRI, 7 Hitsujigaoka, Toyohira, Sapporo, Hokkaido, 062-8516 JAPAN; E-mail: pop128@ffpri.affrc.go.jp