

筑波大学菅平高原実験センターにおける 過去 40 年間の気象変化の傾向

清水 悟

筑波大学菅平高原実験センター^{a)}

〒386-2204 長野県上田市菅平高原 1278-2271

概要

筑波大学菅平高原実験センターで観測されてきた気象要素の経年変化傾向をまとめ、アメダス観測値と比較した。2010 年の平年値更新に伴い、平均気温に変更は見られなかったが最高気温の極値が 2010 年の猛暑発生に伴い更新された。気温には有意な昇温は見られないが、実験センターでは降水量の増加傾向は顕著で、主に冬季の降雪版を利用した降水量測定値の増加が寄与している。その結果、降水量の平年値も 12% 増加した。一方で、積算降雪深に有意な増加傾向は見られず、清水 (2004) が指摘している積雪密度の増加傾向を追従している。実験センター屋上で観測されている風は北北西-南南東方向に卓越し、西南西-南西方向からの風は近傍の影響で観測されていない。風速が有意に減少する傾向が明らかとなり、近傍の森林の生長が影響していると考えられる。

キーワード: 菅平、気象観測、気候変動

1. はじめに

筑波大学菅平高原実験センター (略称、実験センター) は北緯 36 度 31.424 分、東経 138 度 20.873 分、標高 1324 m に位置し、中部山岳域を代表する山岳環境研究の拠点施設として 1934 年から運営されてきた。清水・峰村 (1998)、清水 (2005) は同施設における長期気象観測データに見られる経年変化の特徴をまとめてきた。気象データの平年値は 10 年ごとに更新される 30 年平均と規定されており、2010 年にこの平年値が改訂された。これを機会に、1971 年 - 2010 年の 40 年間にわたる気温・降水量の長期変化および近年の風況変化をまとめ、清水 (2005) で示された傾向との比較結果を報告する。

2. 観測およびデータ

実験センターでは、実験棟東側に位置する芝地にて温湿度、雨量および積雪深を、実験棟屋上 (地上高 13 m) にて風向風速、日照時間、および日射量を測定している。気温観測は白金測温抵抗体と二重円筒強制通風式を使用し、地上高 1.5 m の高さで測定している。冬季に約 80 cm 程度の積雪が生じるが、測定高度は変更していない。本解析では、

毎時に特定される瞬時値を時間値として扱い、日最高・最低気温は別途 1 分単位の出力値から特定している。平年値や季節別の平均値は時間値から算出し、期間中の極値は日最高・最低気温を用いて算出している。降水量データは 4 月から 11 月の降水量はヒーター付きの転倒ます型雨量計で測定された時間降水量を使用しているが、1 月 - 3 月および 12 月のデータについては降雪のあった日の雪を降雪板上で朝 9 時頃に採取し、一定の体積の雪を溶かして日降水量を換算している。但し、この期間の降雨日のみ、転倒マスで測定された値を日降水量としている。積雪深、降雪深は、圃場に近い森林に囲まれた風の弱い場所で雪尺 (メモリのついたポール) とアクリル製の降雪板を用いて午前 9 時頃に毎日一回目視観測している。風向風速は風車型風向風速計を用いて測定し、風向は 16 方位を判別している。観測時刻の前 10 分間の測定値を平均し、その時刻の平均風向・平均風速とし、1 分ごとに出力し、60 分間隔で記録している。冬期は 1 キロワット電球 4 灯を常時点灯し、着雪凍結を防止している。

本報告では季節を春は 3 月 - 5 月、夏は 6 月 - 8 月、秋は 9 月 - 11 月、冬は 1 月 - 2 月および 12 月と定義した。菅平では、実験センターから約 3 km 西の菅平盆地内に気象庁アメダス観測地点 (北緯 36 度 31.909 分、東経 138 度 19.510 分、標高 1253 m) がある。本報告では、アメダスにて測定された値との比較も行った。

3. 平年値

今回新しく更新された 1981 年 - 2010 年を平年値とした気温および降水量に関する統計量を表 1 に示す。1971 - 2000 年 (1981 - 2010 年) のデータから計算した日平均気温・日最高気温・日最低気温はそれぞれ 6.536 °C、12.008 °C、1.782 °C (6.539 °C、12.049 °C、1.856 °C) であり、値は平年値の平均期間の変更に伴い 0.003 °C、0.041 °C、0.074 °C 上昇した。1981 - 2010 年の期間における年々変動の標準偏差はそれぞれ 0.3 度、0.8 度、0.6 度であり、気温に関しては年々変動と比較して平年値そのものに大きな変化を認められない。一方、降水量は 1971 - 2000 年における年平均降水量が 1194 mm/year であったのに比べ、今回の平年値は 1342 mm/year と 148 mm/year 増加した。1981 - 2010 年での標準偏差は 203 mm/year であり、5 章でも説明するように長期的な増加傾向が見られる。気温の極値を見ると、菅平高原でも 30 °C を超す値が出現している。一方、内陸に位置するため日降水量が 100 mm を越える日は観測されていない。

^{a)} 本報告は、平成 22 年度末の成果報告のため、その時点での所属を使用する。

以下、実験センターおよびアメダス地点における年平均気温および年降水量の経年変化を図1に、日最高・最低気温の年平均値変化を図2に、各年の最高気温・最低極値の変化を図3に示す。さらに、各季節で平均(積算)した気温(降水量)を実験センターとアメダスで比較し図4-7に示した。これらの図に見られる特徴を、以下に気温と降水量に別けて解説する。

4. 気温変化

年平均気温の40年分の変動を図1aに示す。年平均気温の上昇気温は40年で約0.3°Cと清水(2005)が前回示した傾向から変化はなく、統計的にも有意な増加ではない。年平均気温は1980年代までは上昇傾向を示しているが、それ以降は最近年の2010年の7.9°Cを除いてほぼ横ばいであった。アメダスの年平均気温の年々変動は実験センターと一致するが、1997年以前は実験センターでの観測値に比べて若干低温傾向を示し、それ以降はセンターより高温傾向が見られる。日最高気温は2010年で急激に昇温を示しており、回帰直線の傾きに大きな影響を与えている(図2a)。日最低気温の年平均値(図2b)は、0.014°C/yearと今回の解析で新たに有意な昇温と判定された。

各年で記録された最高・最低気温(極値)の経年変化傾向を図3に示す。両者ともわずかな上昇傾向がみられるが、統計的な有意性は認められなかった。最高気温の極値が30°Cを超える年は観測期間前半の1985年以前には見られなかったが、それ以降には1987、1994、1995、2010年の4回記録された。特に2010年には8月5日に32°Cを超える観測史上最高値を記録している。この年の8月は本州の広範囲で記録的な猛暑が発生している。一方、アメダスの観測値を見ると1998年以前は実験センターより低温を推移しているが、それ以降は年平均気温同様に若干高温傾向に遷移している。但し、2010年の最高気温は実験センターの値を大幅に下回っており、この要因が斜面と盆地低での地形的差異によるものかどうかは大変興味深い。近年、低標高域でも最高気温の極値が記録を更新しており、菅平のような高標高地点での極値更新との関係および狭域での気温分布の構造を解明していく必要がある。一方で、最低気温の極値に関しては清水(2005)によると明瞭な下降傾向が認められたが、今回は有意な変化傾向は認められなかった。これは1998年以降に最低気温が昇温に転じた結果である(図3b)。アメダスによる最低気温極値は実験センターの値に比べて極端に低い。これは、菅平盆地における冷気湖形成(鳥谷, 2004)が原因であると考えられる。このように、低温極値の発生には微地形における放射冷却と冷気層形成の効果が強く効いており、値の地域代表性に注意する必要がある。

次に、季節別に平均気温変化を議論する。清水(2005)前報では春期と秋期の平均気温に上昇傾向がみられたが、今回は秋期に最も大きい昇温率(0.18°C/year)が出現し(図6a)、次に冬期の0.01°C/yearが大きな昇温率となった(図7a)。ただし、何れも有意な傾向では無い。一方、今回の分析では夏期に下降傾向が出現した(図5a)。清水

(2005)では解析された一次回帰直線の傾き傾向が今回の解析で変化した要因は、1998年以降に気温変化傾向が逆転したためである。これは10年スケールの気候変動が菅平の気温遷移に影響を及ぼしている事を示唆している。

5. 降水量・積雪変化

年降水量の経年変化を図1bに示す。菅平実験センターでは12.8 mm/yearの有意な増加が見られた。このような有意な増加傾向は前回の報告内容でも確認されている。季節別に見ると、特に冬季降水量に顕著な増加傾向が見られる。この増加傾向はアメダスデータでは検出されず、むしろ冬期のアメダスデータによる降水量は1993/94年以後急激に低下している。佐藤ほか(2011)によると、長野地方気象台に問い合わせ、同時期に雨量計を溢水式から転倒マス式に変更したとの報告があったとの事である。菅平アメダスは開けた小学校グラウンドの季節風に対して風下に位置し、森林に囲まれた実験センター芝地の立地条件に比べ地上風速は強い事が想定される。従って、アメダスデータに見られた降水量の低下は、明らかに雨量計の種類の変更に伴う降雪の補足率低下が原因であると考えられる。一方、春、夏、秋期の降水量変化を見ると増加は見られたが有意な傾向とは言えない。

次に、実験センターにおける積雪状況を報告する。菅平における積算降雪深と最大積雪深の平年値は、それぞれ430 cm、60.1 cmとなり、日本海沿岸や北アルプス・越後山地といった山岳域と比べ少ない。冬期積算降雪深の経年変化を図8に示す。1983年度と1995年度は顕著な多雪、2006年は顕著な少雪年であった。今までに最も積雪が記録された年は積算降雪深が1995年で625 cm、最深積雪深は1984年3月22日の144 cm(近年では2008年2月27日の132 cm)である。なお1991年2月17日に大雪が発生し、当日は交通遮断のため降雪量は測定不能であった。後日の測定で、1-2日の間に92 cmの記録が発生していたが、これには積雪の再配分に伴う吹きだまりの影響も含まれていると考えられる。逆に、最も積算降雪深が少ないのは2006年で250 cmとなり、最大積雪深は53 cmであった。積算降雪深には有意な長期増加傾向は見られないが(図8)、冬季降水量に増加傾向が見られる(図7b)。後述するように地上風速には経年的な増加傾向が見られないため、たとえ積雪の再配分が生じてその影響で降水量に増加傾向が生じたとは考えにくい。つまり、従来から、菅平高原で卓越していた乾燥粉雪による降雪に対して、近年は湿雪を伴う降雪頻度が増加してきている事を示唆する。菅平では冬季に冬型気圧配置と移動性低気圧の両方で降水がもたらされるが、低気圧通過時は温暖な気流が流入し、多湿の降雪がもたらされることが多い。前章で冬季の平均最低気温に有意では無いが上昇がみられた(図2)。つまり、冬季に卓越する気圧配置が長期的に変化していることが降積雪の質の長期変化傾向をもたらしている可能性がある。

6. 風向風速の変化

1998年から2010年までの月平均風速と季節別の風向頻度を図9に示す。風向発生頻度は、風速0.3 m/sec以上の時のみで計算しており、それ以下は無風とした。風速は春の4月に最大となり、夏の7-8月に最小となる。風向の頻度分布を見ると西南西-南西方向からの風はどの季節もほとんど吹かず、近傍の建築物や森林の影響を受けているものと考えられる。北北西および南南東からの風が卓越しており、前者は冬季に、後者は夏期に頻度が増加する。また、夏期には東北東からの風も発生している。

1998年以降の年平均風速変化(図10)を見ると、毎年0.03 m/s弱化する有意な減少傾向が明らかとなった。実験棟周辺の樹木は伐採を行っておらず、これらの成長のために粗度が増加し風速が低下傾向となっていると考えられる。

謝辞

本報告は中部山岳域連携事業の一環として実施した。本報告書をまとめるに当たり、上野健一准教授(筑波大学生命環境系)にはご指導ならびにご助言をいただきました。

引用文献

- [1] 清水悟, 峰村紀一, 1998: 長野県菅平における1970年-1997年(28年間)の気温、降水量の経年変化. 筑波大学技術報告, 18, 43-47.
- [2] 清水悟, 2005: 筑波大学菅平高原実験センターにおける過去35年間の気象観測からみた菅平の気象の傾向. 筑波大学技術報告, 25, 76-82.
- [3] 鳥谷 均, 2004: 菅平の冷気流. 堀口郁夫・小林哲夫・塚本 修・大槻恭一(編著)『局地気象学』, 森北出版, 217-222.
- [4] 佐藤香枝, 上野健一, 南光一樹, 清水悟, 長野県菅平高原における冬季降雨の発生傾向. 水文水資源学会誌投稿中。

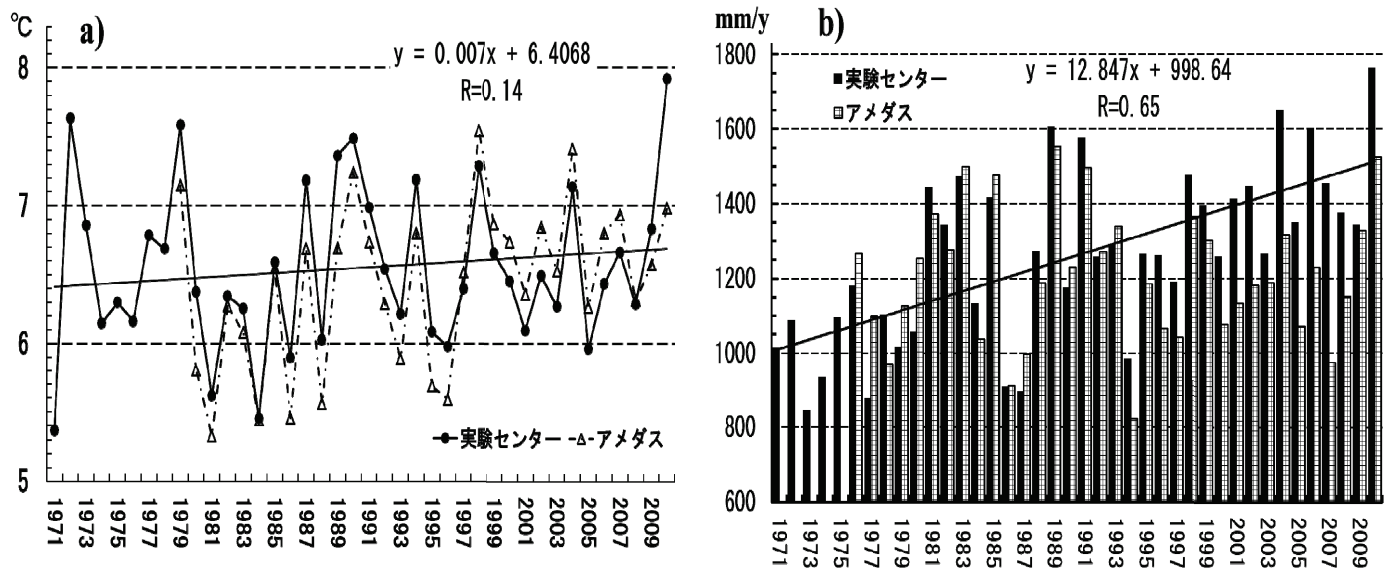


図1. 菅平実験センターおよび菅平アメダスにおける a) 年平均気温および b) 年降水量の経年変化。
実験センターのデータから計算した一次回帰直線と回帰式・相関係数 (R) も示す

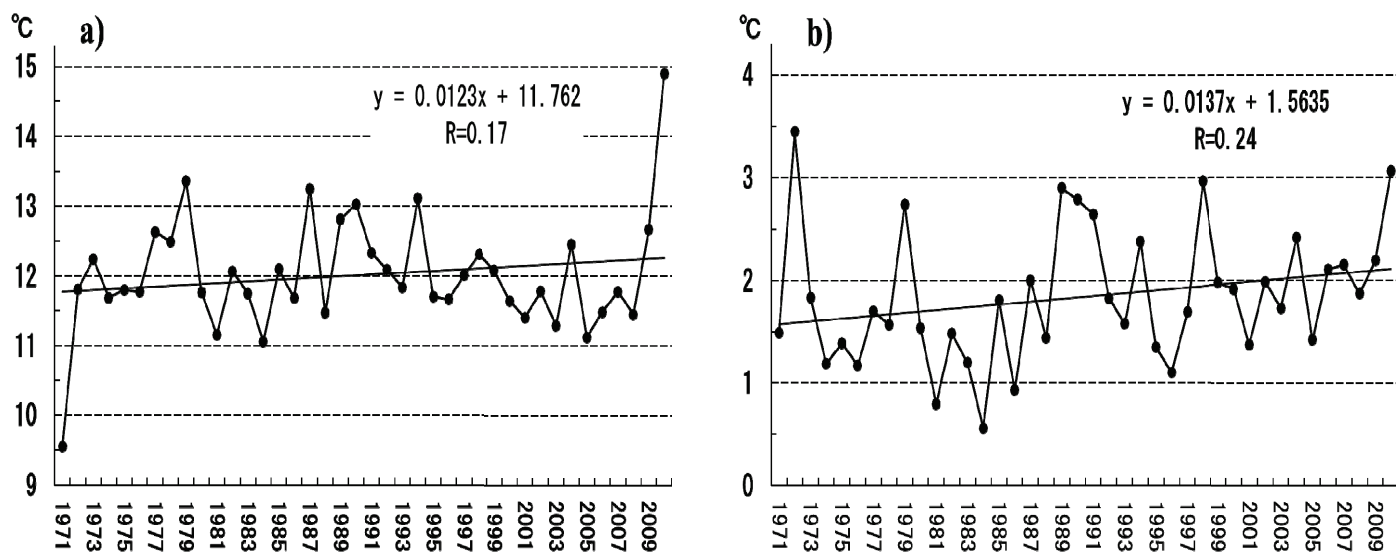


図2. 菅平実験センターにおける a) 日最高気温年平均と b) 日最低気温年平均の経年変化

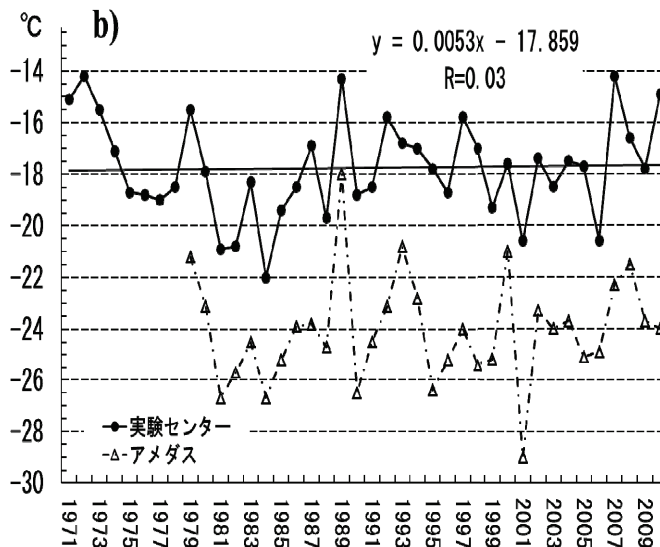
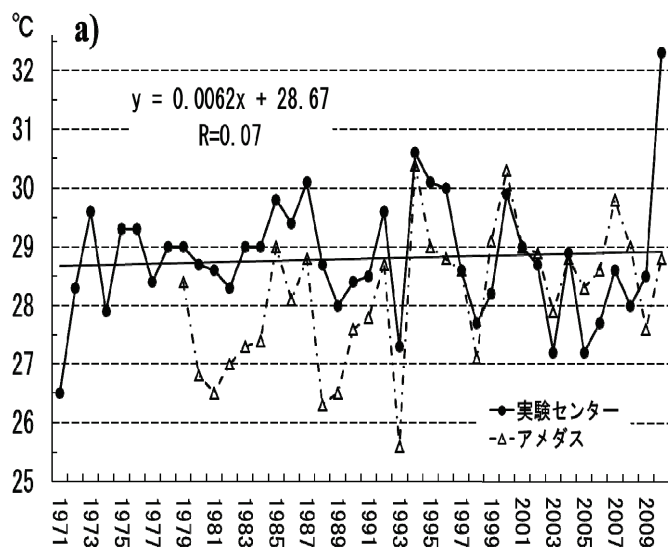


図 3. 菅平実験センターにおける a) 最高気温極値と b) 最低気温極値の経年変化

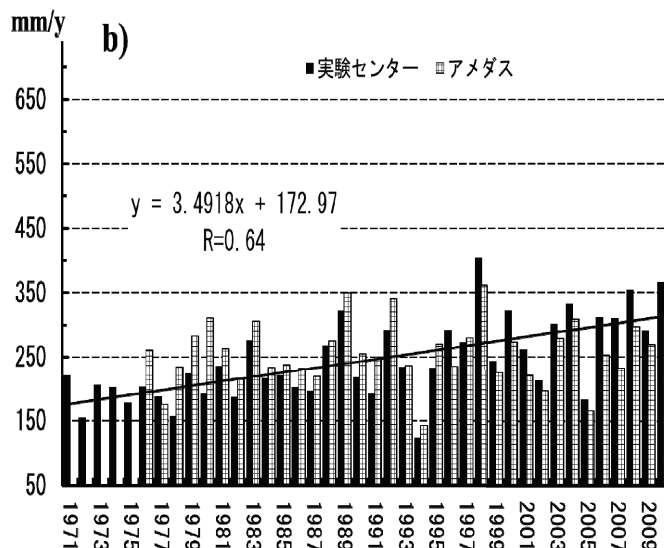
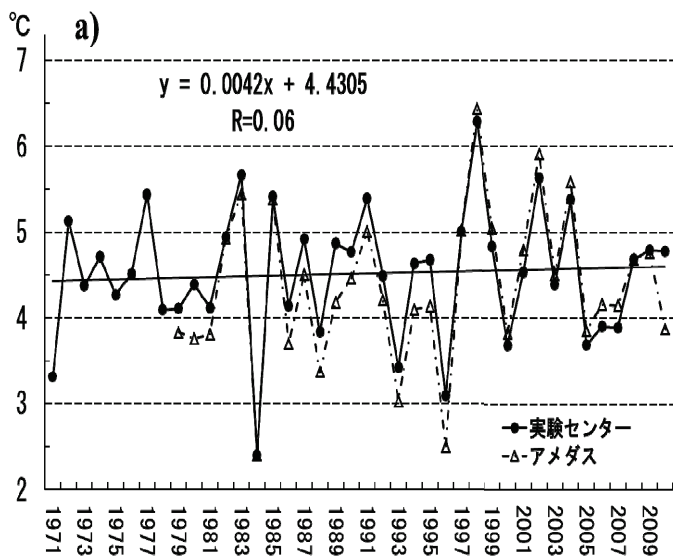


図 4. 実験センターおよびアメダスで観測された a) 春期の平均気温、および b) 積算降水量の経年変化。直線および一次回帰式 (相関係数 R) は実験センターでの傾向を示す

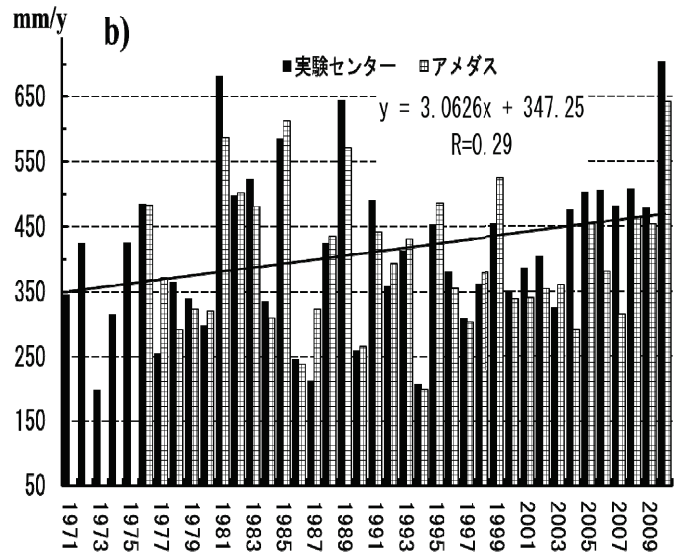
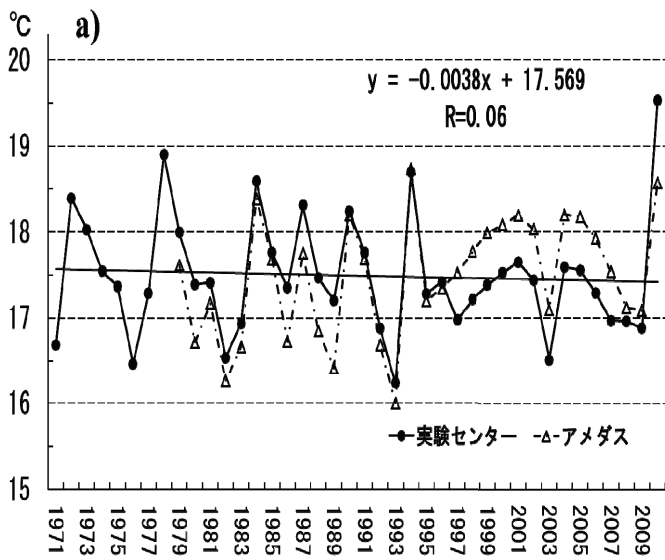


図 5. 図 4. と同様、但し夏期

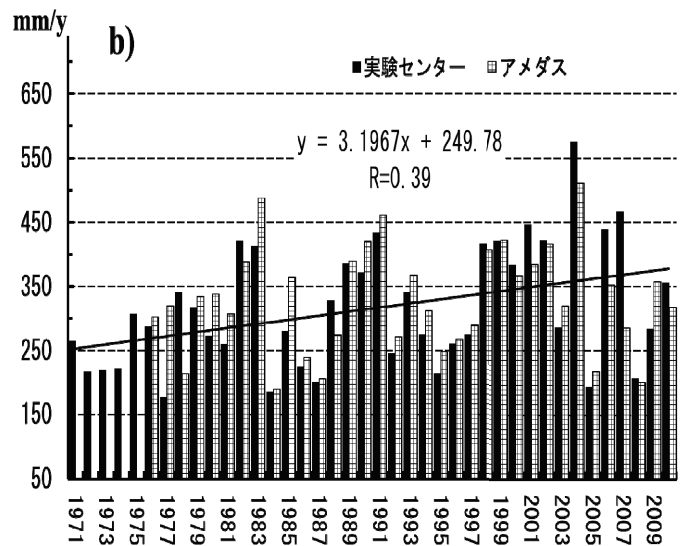
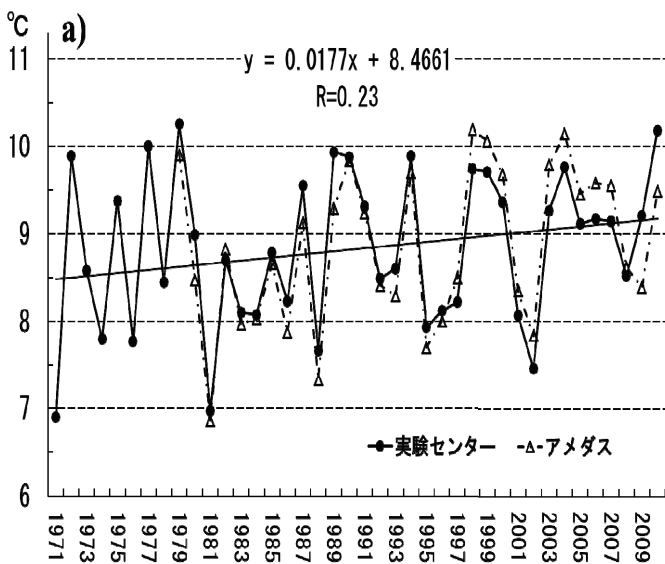


図 6. 図 4. と同様、但し秋期

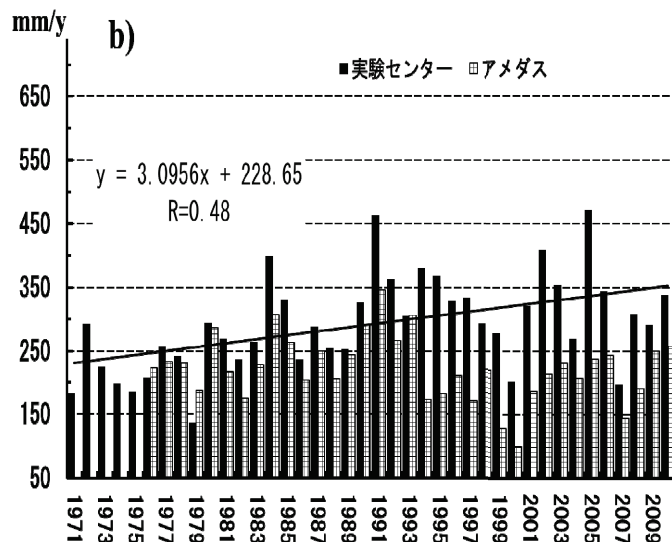
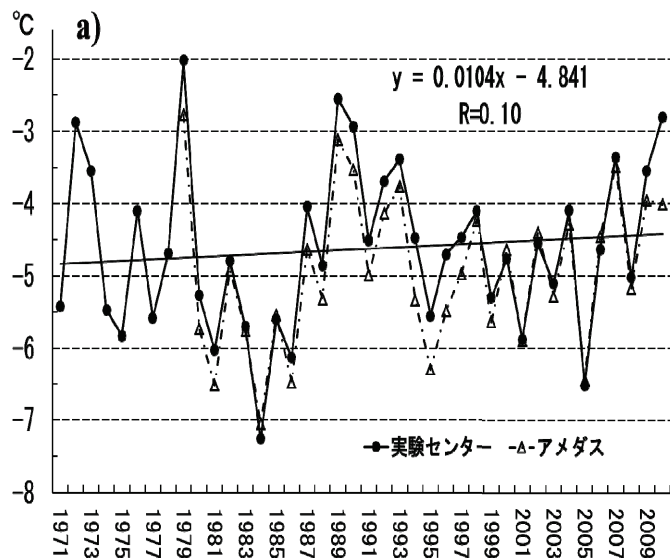


図7. 図4. と同様、但し冬期

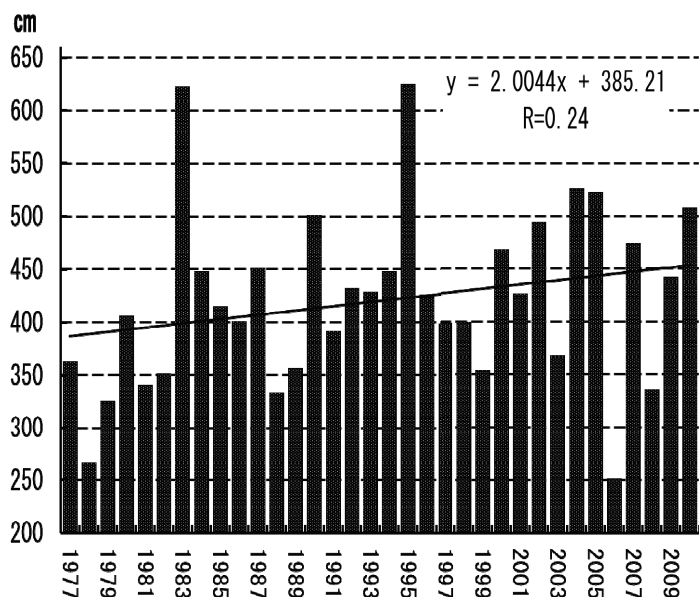


図8. 菅平実験センターにおける
冬期積算降雪深

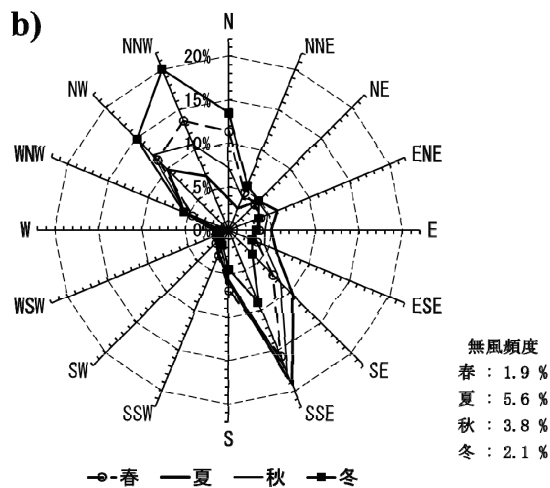


図9. a) 1998-2010年の月別平均風速および b) 季節別の風向頻度図

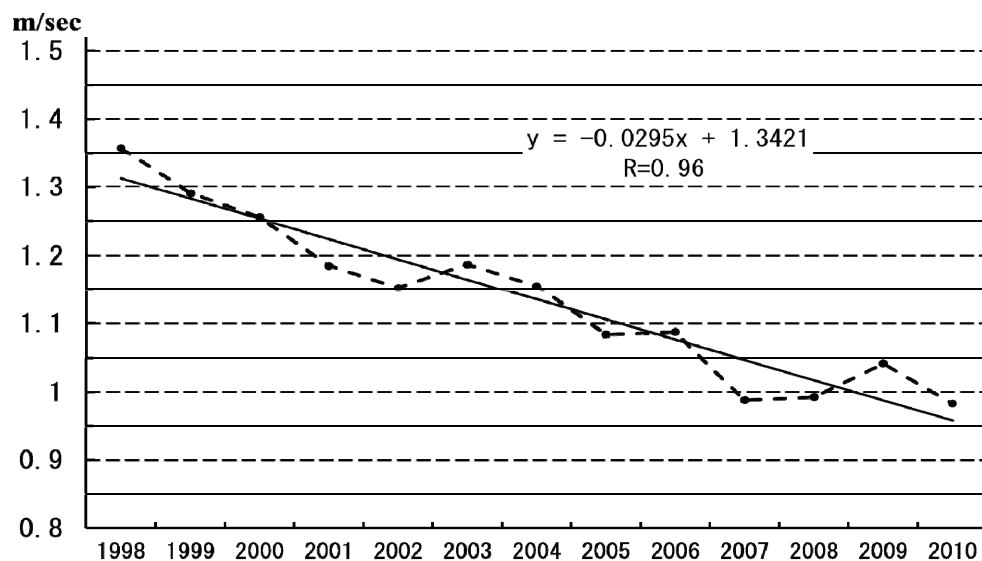


図 10. 1998 年以降の年平均風速変化

表 1. 1981-2010 年データに基づく菅平高原実験センターの気温・降水量平年値

| | 年間 | 春期 (3-5月) | 夏期 (6-8月) | 秋期 (9-11月) | 冬季 (12-2月) |
|--------------|--------|-----------|-----------|------------|------------|
| 日平均気温 (°C) | 6.5 | 4.5 | 17.5 | 8.8 | -4.6 |
| 日最高気温平均 (°C) | 12.0 | 10.5 | 22.8 | 14.3 | 0.4 |
| 日最低気温平均 (°C) | 1.9 | -1.0 | 13.3 | 4.5 | -9.5 |
| 最高気温極値 (°C) | 32.3 | 28.8 | 32.3 | 31.6 | 18.3 |
| 最低気温極値 (°C) | -22.0 | -19.6 | 1.1 | -13.0 | -22.0 |
| 積算降水量 (mm) | 1342.4 | 262.0 | 431.7 | 333.2 | 315.6 |
| 日最大降水量 (mm) | 83.3 | 32.2 | 62.8 | 66.4 | 33.0 |