

長野県における年最深積雪の長期変化

栗林正俊¹

本研究では、長野県の年最深積雪が気候変動によりどのように変化してきたかを明らかにするため、長野県の気象官署4地点(長野・松本・飯田・軽井沢)で観測された年最深積雪、および、冬季(前年12月~2月)の平均気温と積算降水量について、1926~2025年の経年変化を統計的に解析した。その結果、年最深積雪は松本と飯田において有意水準5%以下で統計的に有意な減少傾向を示した。冬季平均気温は全ての観測地点において有意水準1%以下で統計的に有意な上昇傾向を示した。冬季降水量は長野において有意水準10%以下で統計的に有意な減少傾向を示したが、有意水準5%以下で統計的に有意な変化傾向を示した地点はなかった。これらの結果から、気候変動は長野県の冬季平均気温を全体的に上昇させているが、年最深積雪の長期的な変化傾向は地点により異なると考えられる。今後は、冬型や南岸低気圧など降雪パターンに応じた年最深積雪の経年変化の違いについて評価することが課題である。

キーワード：気候変動、年最深積雪、経年変化、長野県、統計解析

1 はじめに

我が国は気候変動適応法や2050年カーボンニュートラルに基づき、環境省と国立環境研究所が中心になって適応策と緩和策を推進している。長野県も2019年4月に信州気候変動適応センターを設置し、2021年6月に長野県ゼロカーボン戦略を策定した¹⁾。さらに、長野県の管轄する試験研究機関が連携したプロジェクトを立ち上げて、適応策と緩和策の技術開発をする体制を整えた。各部署の試験研究機関が適応技術・緩和技術を開発する上では、各地域の気候変動の実態把握、高解像度の気候予測、各分野への影響評価等の情報が必要不可欠であり、長野県環境保全研究所はこれらの基盤情報の整備と発信を積極的に進めている。例えば、長野県環境保全研究所の研究報告^{2),3)}や信州気候変動適応センターのホームページ⁴⁾には、長野県の気候変動に関する基盤情報がまとめて公開されている。

気候変動の実態を把握するためには、長期間に渡る均質で精緻な気象観測が必要で、我が国においては気象庁の気象観測値が有用である。気象庁が全国約1300か所に設置している地域気象観測システム(アメダス)は1970年代半ばから運用を開始しており、降水量を50年近く継続して観測している⁵⁾。このうち、840か所は降水量以外にも気温、相対湿度、風向・風速を観測していて、積雪深も観測している地点は雪が多い地方の約330か所となっている⁵⁾。

特に、長野県は比較的標高が高い場所にアメダスがあり、開田高原や菅平は標高1000mを超える積雪深の観測点となっていて全国的にも貴重である。

「日本の気候変動2025」⁶⁾は、一定の標高以上のアメダス観測点を抽出して年最深積雪の経年変化を示し、最近の値は期間の前半に比べて減少が見られるものの統計的な有意性は低いことを報告している。一方、同報告書はアメダスを用いて積雪の変化傾向を評価するためには、さらに20年以上のデータの蓄積が必要なることを指摘している⁶⁾。

気象台や特別地域気象観測所などの気象官署は、アメダスに比べて地点数はずっと少ないものの、積雪深も含め様々な気象要素を観測している。また、観測期間が100年を超える地点も多く、長期的な気候の変化を解析する上ではアメダスよりも有効で、「気候変動監視レポート2023」⁷⁾でも気象官署の観測値に基づいて国内の気候変動の実態を評価している。現在、気象庁は気象観測値をホームページで随時公開しているが、気象観測が自動化される前の古い観測値については、気象台の原簿に記録された情報を気象庁の職員が確認した上で公開するため、未公開の情報も多い。積雪深については、これまで1962年以降のデータしか公開されていなかったため、「気候変動監視レポート2023」⁷⁾でも気温や降水量の経年変化は1898~2023年を対象にしているのに対し、積雪深の経年変化は1962~2023年で期間が短い。しかし、2024年3月26日に気象庁のホ

1 長野県環境保全研究所 自然環境部 〒381-0075 長野市北郷2054-120

ホームページ上で1961年以前の積雪深観測値が公開され⁸⁾、100年に及ぶ積雪深の経年変化を解析することが可能になった。データは同ホームページの過去の気象データ検索で、「地点」、「年月日」、「データの種類」を選択することで閲覧することができる⁹⁾。

長野県北部は世界有数の豪雪地帯で、JR 飯山線の森宮野原駅(長野県栄村)では1945年2月12日に785 cmの積雪深が観測され、これは駅における日本最高積雪深の記録とされている¹⁰⁾。長野県の積雪は、水資源や観光資源としても活用されており、気候変動により積雪がどう変化するかは重要な問題であるため、いくつか先行研究がある。2008年に発行された長野県環境保全研究所の研究報告書では、長野、松本、飯田、軽井沢、諏訪における2007年以前の年最深積雪の経年変化を解析した結果、飯田で1961~2007年の期間に有意水準5%以下で統計的に有意な増加傾向が見られたことを除いて、統計的に有意な変化傾向は見られなかったことを報告している¹¹⁾。また、同報告書では各地点の年最深積雪と冬季(前年12月~2月)の平均気温の相関関係を分析した結果、長野と飯田では有意な負の相関があり、松本、軽井沢、諏訪では無相関であったことを報告し、長野と飯田は冬の気圧配置で降雪がもたらされる場所であることを指摘している。一方、2015年に発行された長野県環境保全研究所の研究報告書では、長野、松本、飯田における1962~2014年の年最深積雪の経年変化を解析し、いずれの地点においても統計的に有意な変化傾向は見られなかったこと、および、2014年は南岸低気圧の通過によりいずれの地点においても1962年以降で最も積雪が多かったこと、を報告している¹²⁾。

長野県内では2016年以降に記録の高温が相次いで観測されており²⁾、この期間も含めて年最深積雪の経年変化を解析することは重要である。市立大町山岳博物館研究紀要の鈴木(2022)では、長野地方気象台に保管されている原簿の積雪深観測値に基づいて大町と松本の1898~2021年の年最深積雪の経年変化を評価した結果、大町では増減傾向が認められないのに対し、松本では有意水準1%以下で統計的に有意な減少傾向があることを報告している¹³⁾。しかし、長野県の各気象官署を対象に2016年以降も含めて100年規模の長期的な年最深積雪の変化を評価し、冬季の気温や降水量との関係を明らかにした研究はない。そこで、本研究では長野県の各気象官署における積雪深、気温、降水量の観測値を解析

し、経年変化の特徴を明らかにするとともに、年最深積雪と冬季平均気温、および、年最深積雪と冬季降水量の各相関関係を評価することを目的とする。

2 方法

気象観測値は、長野地方気象台と松本、飯田、軽井沢の3つの特別地域気象観測所における年最深積雪、および、冬季(前年12月~2月)の平均気温と3ヶ月積算降水量(冬季降水量)を利用した。各気象官署の位置や積雪深の観測開始時期は表1に記載のとおりである⁹⁾。年最深積雪は、寒候年(前年8月1日~当年7月31日)における積雪深の最大値を意味する。各観測値やその均質性に関する情報は、気象庁のホームページから取得した⁹⁾。解析には気象庁の気象観測統計指針の正常値と準正常値を使用した¹⁴⁾。4つの気象官署のうち積雪深の観測開始が最も遅い軽井沢は1925年1月から積雪深の観測値があるが、年最深積雪としては1925年の寒候年は前年12月のデータがないために準正常値にもならない。よって、本研究では各観測値の経年変化の統計解析を行う期間は、1926~2025年の100年間とした。松本、飯田、軽井沢の3つの気象官署は、解析対象期間に移転等で気温の前後のデータが均質ではない部分があるが、統計は切断されておらず経年変化の解析は可能である。また、積雪深と降水量については、移転の前後でも観測データは均質とされている。

各気象要素の経年変化について、統計的な有意性を検定する際は、長期変動傾向の統計解析に用いられるノンパラメトリック検定の一つで、外れ値の影響を受けにくいとされるMann-Kendall検定を利用した¹⁵⁾。検定統計量のtau値は-1~1の範囲の数値で、値が正(負)であれば、その経年変化は増加(減少)傾向にあるといえる。また、p値は0~1の範囲の数値で、帰無仮説が正しいという条件において、検定統計量の値よりも極端な統計量が観測される確率のことである¹⁶⁾。p値が小さいほど検定統計

表1 各気象官署の位置と積雪深の観測開始時期⁹⁾。

観測所名	東経(°)	北緯(°)	標高(m a.s.l.)	積雪深の観測開始
長野	138.192	36.662	418.2	1892年1月
松本	137.970	36.247	610.0	1898年1月
飯田	137.822	35.523	516.4	1897年11月
軽井沢	138.547	36.342	999.1	1925年1月

量がその値になることはあまり起こりえないことを意味し、例えば p 値が 0.05 以下の場合、有意水準 5%以下で統計的に有意な変化傾向があると判断できる。

3 結果と考察

3.1 経年変化

3.1.1 年最深積雪

年最深積雪は、全4地点のうち松本と飯田において有意水準 5%以下で統計的に有意な減少傾向を示した(図 1)。長野と軽井沢は統計的に有意ではないものの、年最深積雪の変化率と tau 値と p 値は、長野が $-6.5 \text{ cm}/100 \text{ 年}$ (tau 値 = -0.0882 , p 値 = 0.1936)、軽井沢が $-3.9 \text{ cm}/100 \text{ 年}$ (tau 値 = -0.0695 , p 値 = 0.3081)であった。軽井沢では 2014 年 2 月 15 日に南岸低気圧に伴う大雪で観測史上最高となる 99 cm の積雪を記録しており、一見、積雪が増加しているようにも見えるが、長期的な経年変化として積雪は増加してはいない。

先行研究では松本における年最深積雪が有意水準 1%以下で有意な減少傾向を報告しており¹³⁾、同じ減少傾向ながら有意水準は異なる。本研究において

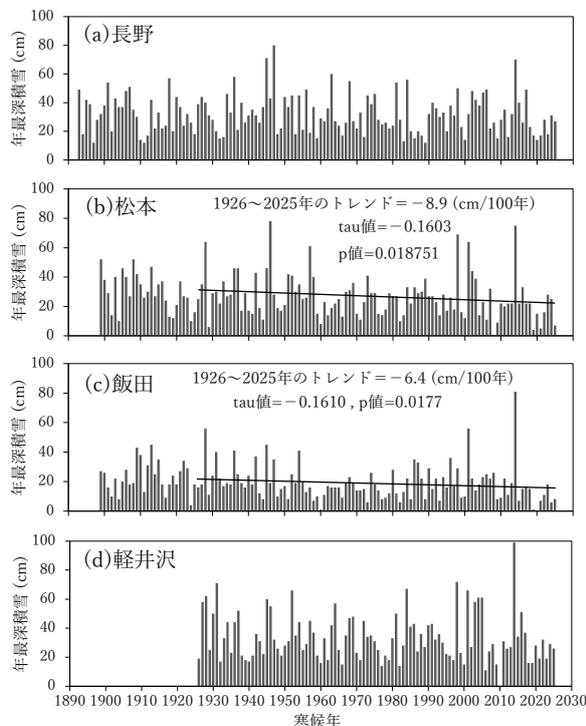


図 1 各気象官署における年最深積雪の経年変化。灰色の棒は観測値。黒い細線は有意水準 5%以下で有意な回帰直線。

も松本の全観測期間(1899~2025 年)を対象に経年変化を解析すると 1%以下で有意な減少傾向(tau 値 = -0.1814 , p 値 = 0.0026)を示したので、1925 年以前の観測値を含めることで、松本における年最深積雪の減少傾向はより頑健なものになると考えられる。一方、飯田については 1961~2007 年の期間に有意水準 5%以下で統計的に有意な増加傾向が見られたことが報告されており¹¹⁾、本研究の結果とは異なる。これは、統計解析の期間が違うことが原因と思われる。50 年規模と 100 年規模では経年変化の傾向に逆の結果が出ることもあることを示している。なお、飯田においても全観測期間(1899~2025 年)を対象に経年変化を解析すると有意水準 1%以下で有意な減少傾向(tau 値 = -0.2042 , p 値 = 0.0007)を示し、年最深積雪の減少傾向はより頑健なものになった。一方、長野では全観測期間(1893~2025 年)を対象に経年変化を解析しても、統計的に有意な変化傾向は見られなかった。

3.1.2 冬季平均気温

冬季平均気温は、全4地点において有意水準1%以下で統計的に有意な上昇傾向を示し、1926~2025 年の変化率は $1.38 \sim 2.38 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ 年}$ であった(図2)。

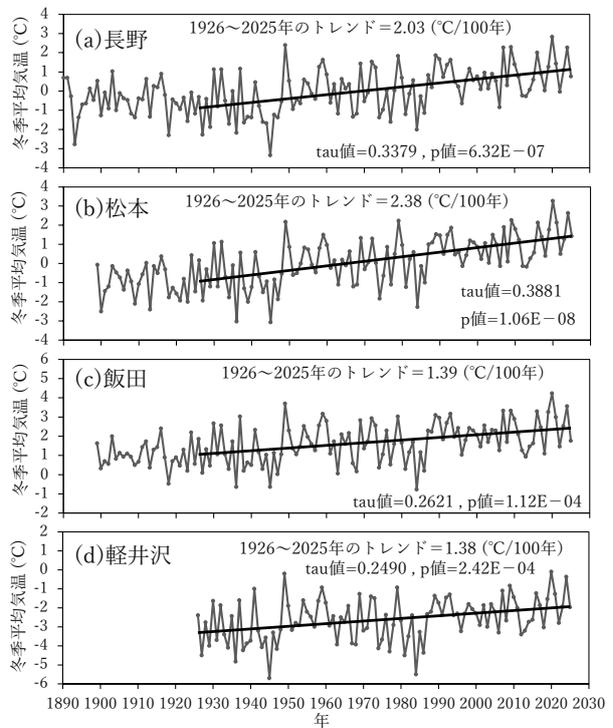


図 2 各気象官署における冬季(前年 12 月~2 月)の平均気温の経年変化。灰色の折れ線は観測値。黒い太線は有意水準 1%以下で有意な回帰直線。

これは、日本全国で都市化の影響が比較的小さい15地点において、1927～2023年の冬季平均気温の変化率を平均した値(1.6°C/100年)と比べて、同程度かやや高い⁷⁾。この15地点に含まれている飯田の変化率は1.39°C/100年であった(図2c)。一方、長野、松本の変化率は2.0°C/100年を超えていて、気候変動に加えて都市化の影響を受けている可能性がある。

先行研究では、中部山岳地域の気温変化に焦点を当てて、富士山や長野県周辺における14地点の気象庁の観測値を解析し、1989～2022年の冬季平均気温は全ての地点で統計的に有意な変化傾向は認められないことを報告している¹⁸⁾。また、比較的高さが低く周囲の人口が多い地点に比べて、比較的高さが高く周囲の人口が少ない地点では、気温の変化傾向が明瞭ではないことも報告している¹⁸⁾。この研究に比べると本研究は解析対象期間が3倍近く長いですが、本研究においても、対象とした4地点のうち最も標高が高い軽井沢(標高: 999.1 m)が1926～2025年の冬季平均気温の変化率は最も小さく1.38°C/100年であった(図2d)。鈴木(2013)は1930年頃から2010年頃の1月の月平均気温が、軽井沢では有意水準5%以下で有意な増加傾向を示

すのに対して、富士山(標高: 3775.1 m)では有意水準10%でも有意な変化傾向を示さないことを報告しており¹⁶⁾、標高1000 mよりも高い地域においては、冬季平均気温の変化率が本研究の結果よりも小さくなる可能性がある。

3.1.3 冬季降水量

冬季降水量は、長野において有意水準10%以下で統計的に有意な減少傾向を示した(図3a)。長野の冬季降水量の変化率とtau値とp値は、-33.3 mm/3カ月/100年(tau値=-0.1292, p値=0.0569)であり、冬季降水量の平均値に対する比率として変化率を計算すると-22.0%/100年となる。他の3地点は統計的に有意ではないものの冬季降水量の変化率は負の値であった。これらのことから、少なくとも長野県の各気象官署における冬季降水量は長期的に増加してはいないと考えられる。

先行研究では、大町のアメダスによる1979～2019年の冬季降水量の経年変化を解析した結果、有意水準10%以下で統計的に有意な増加傾向が示されたことを報告している¹⁷⁾。これは本研究の結果とは異なり、解析対象期間や観測地点の違いによるものと考えられる。

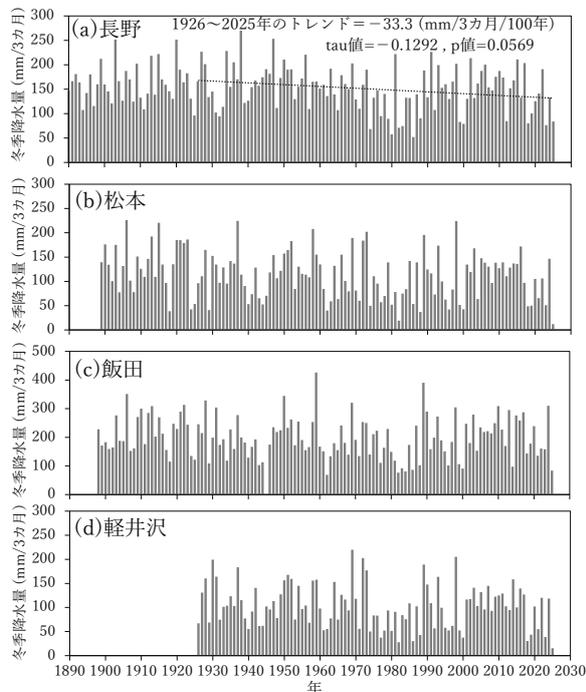


図3 各気象官署における冬季(前年12月～2月)の積算降水量の経年変化。
灰色の棒は観測値。黒い点線は有意水準10%以下で有意な回帰直線。

3.2 相関関係

3.2.1 年最深積雪と冬季平均気温

各気象官署における年最深積雪と冬季平均気温の間には有意水準5%以下で統計的に有意な負の相関がある(図4)。この負の相関は、長野、飯田、松本、

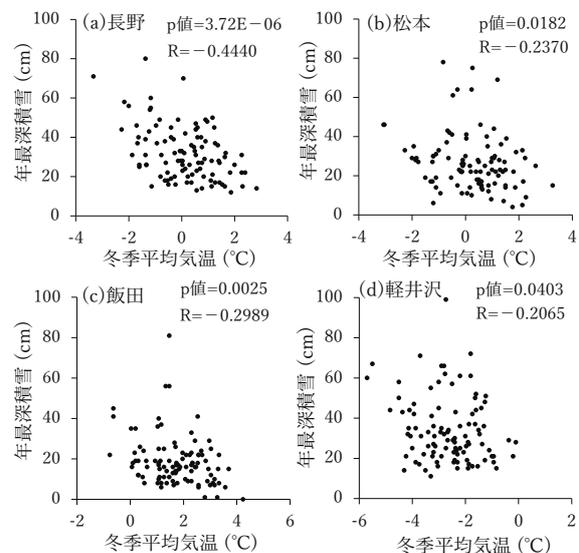


図4 各気象官署における年最深積雪と冬季(前年12月～2月)平均気温の関係。

軽井沢、の順番で強く、冬型の気圧配置で降雪がもたらされることの多い地域の方が、南岸低気圧の通過時に降雪がもたらされる地域よりも、負の相関が強いと考えられる。なお、先行研究は長野と飯田は負の相関があるのに対し、松本と軽井沢は無相関としており¹¹⁾、松本と軽井沢の結果は本研究と異なる。この松本と軽井沢の結果の違いは、解析対象期間の違いが原因と考えられる。

3.2.2 年最深積雪と冬季降水量

各気象官署における年最深積雪と冬季降水量の間には、飯田を除いて有意水準 1%以下で統計的に有意な正の相関がある(図 5)。長野は冬型の気圧配置で降雪がもたらされることが多いので、冬型の気圧配置の出現頻度が高く寒気が流入しやすい年に降水量と積雪深の両方が増え、結果として両者の間に正の相関が現れている可能性がある。一方、松本と軽井沢は南岸低気圧の通過時に降雪がもたらされることが多いが、低気圧の経路や寒気の強さ次第では降水が雨としてもたらされることもあり、長野に比べると正の相関がやや弱い可能性がある。飯田で無相関となる理由として、飯田は他の地点に比べて南に位置するため冬季平均気温が比較的高く(図 2)、冬季の降水が雪ではなく雨としてもたらされる確率が高いことが考えられる。1953 年以降であれば降雪深のデータも気象庁のホームページに公開されており⁹⁾、このデータに基づき冬季の降水が雨と雪のどちらでもたらされる割合が高いかを解析することで、

年最深積雪と冬季降水量の間の相関関係に関する地点間の違いを理解できると考えられる。

4 おわりに

長野県では気候変動により気温が上昇しており、松本と飯田ではこの 100 年で年最深積雪が減少傾向にある。気温の上昇は、冬季の降水を雪から雨に変えることが、年最深積雪の減少の一因と考えられる。また、気温の上昇が積雪の融解を促進することで、雪が降っても積もりにくくなっている可能性もある。一方、長野と軽井沢では年最深積雪の有意な変化傾向は見られなかった。長野県内でも年最深積雪の長期変化傾向には地域差があり、地理特性に応じた大雪をもたらす降雪パターンの違いなどを詳細に解析することで、この地域差の理由を追究できると考えられる。今後は天気図や気象庁第 3 次長期再解析(JRA-3Q)などの長期再解析データの解析を行い、冬型や南岸低気圧の気圧配置の出現頻度が長期的にどう変化しているかを評価することで、長野県の年最深積雪の長期変化と総観規模擾乱の長期変化の関係を明らかにできる可能性がある。

ORCID

Masatoshi Kuribayashi

<https://orcid.org/0000-0001-7709-1287>

文 献

- 1) 長野県 (2021) 長野県ゼロカーボン戦略: <https://www.pref.nagano.lg.jp/kankyokeikaku/zerocarbon/index.html> (2024 年 12 月確認)
- 2) 栗林正俊・浜田崇 (2021) 長野県における気候変化の観測事実と将来予測, 長野県環境保全研究所研究報告, 17: 73-83
- 3) 栗林正俊 (2024) CMIP6 をベースにした CDFDM 手法による日本域バイアス補正気候シナリオデータ(NIES2020 Ver.1.1)による長野県の気候予測, 長野県環境保全研究所研究報告, 20: 17-28
- 4) 信州気候変動適応センター, <https://lccac-shinshu.org/> (2024 年 12 月確認)
- 5) 気象庁, 地域気象観測システム(アメダス):

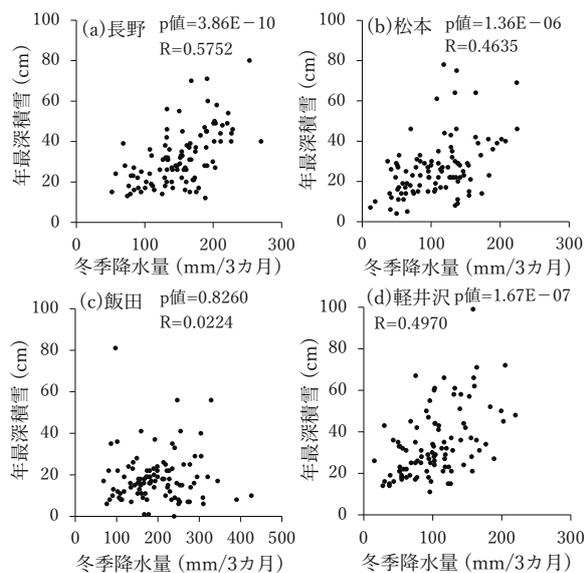


図 5 各気象官署における年最深積雪と冬季(前年 12 月~2 月)降水量の関係。

- <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/knownamedas/kaisetsu.html> (2025年3月確認)
- 6) 文部科学省・気象庁 (2025) 日本の気候変動 2025 : https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/2025/pdf/cc2025_shousai.pdf (2025年3月確認)
 - 7) 気象庁 (2024) 気候変動監視レポート 2023 : https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/2023/pdf/ccmr2023_all.pdf (2024年12月確認)
 - 8) 気象庁, データ修正の過去のお知らせ : https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/kako_data.html (2025年3月確認)
 - 9) 気象庁, 過去の気象データ検索 : <https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/> (2025年3月確認)
 - 10) JR 東日本, 駅の小さな物語 森宮野原駅 : <http://www.jreast.co.jp/nagano/trip/morimiya/> (2024年12月確認)
 - 11) 長野県環境保全研究所 (2008) 長野県における地球温暖化現象の実態に関する調査研究報告書, 59pp.
 - 12) 長野県環境保全研究所 (2015) 長野県における温暖化影響評価及び適応策立案手法の開発に関する研究報告書, 196pp.
 - 13) 鈴木啓助 (2022) 大北地域におけるアメダス観測以前の積雪深変動, 市立大町山岳博物館研究紀要, 7: 1-8
 - 14) 気象庁, 気象観測統計指針 : http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/kaisetsu/shishin/shishin_3.pdf (2024年12月確認)
 - 15) 松山洋・谷本陽一 (2008) 実践! 気候データ解析第二版, 古今書院, 118pp.
 - 16) 鈴木啓助 (2013) 中部山岳地域における気象観測の現状とその意義, 地学雑誌, 122(4) :553-570
 - 17) 鈴木啓助 (2021) 大町市とその周辺地域における近年の気候変動, 市立大町山岳博物館研究紀要, 6: 1-5
 - 18) 鈴木啓助 (2024) 中部山岳地域における近年の気温変動, 市立大町山岳博物館研究紀要, 9: 1-8

Long-term trend of annual maximum snow depth in Nagano Prefecture

Masatoshi KURIBAYASHI¹

*1 Natural Environment Division, Nagano Environmental Conservation
Research Institute, 2054-120 Kitago, Nagano 381-0075, Japan*

Key words : climate change, annual maximum snow depth, long-term trend, Nagano Prefecture,
statistical analysis

Abstract

In order to clarify how the annual maximum snow depth in Nagano Prefecture has changed due to climate change, we statistically analyzed the long-term trends in the annual maximum snow depth observed at four meteorological stations in Nagano Prefecture (Nagano, Matsumoto, Iida, and Karuizawa), as well as the average temperature and accumulated precipitation during the winter (December of the previous year to February) from 1926 to 2025. As a result, the annual maximum snow depth showed a statistically significant decreasing trend at a significance level of 5% or less in Matsumoto and Iida. The winter mean temperature showed a statistically significant increasing trend at a significance level of 1% or less at all meteorological stations. The winter precipitation showed a statistically significant decreasing trend at a significance level of 10% or less in Nagano, but no stations showed a statistically significant trend at a significance level of 5% or less. These results indicate that climate change has generally increased winter mean temperature in Nagano Prefecture, but the long-term trend of the annual maximum snow depth differs depending on the meteorological station. Future work will be to evaluate the differences in the long-term trends of the annual maximum snow depth according to snowfall patterns such as winter types and low pressure systems along the south coast of Japan.