

論 説

日本アルプス周辺地域における気温変動の季節による差異： 近年の冬は暖かくなっていない

要旨

鈴木啓助

信州大学山の環境研究センター
〒390-8621 松本市旭3-1-1
市立大町山岳博物館
〒398-0002 大町市大町8056-1

2025年2月20日受付
2025年8月4日受理

1898年から2023年までの日本における年平均気温は、 $1.35^{\circ}\text{C}/100$ 年の割合で上昇しているが、1989年以降では、 $2.56^{\circ}\text{C}/100$ 年の上昇率であり、近年の気温上昇が顕著である。本論では、1989年から2023年までの気温変動を検討する。季節平均気温の変動については、夏季の上昇率が最も高いが、冬季の変化は他の季節とは異なり、変化率が、 $-0.28^{\circ}\text{C}/100$ 年となり、減少傾向である。月平均気温の変化傾向では、最も上昇率が高いのは3月であり、4月を除いた3月から9月までは大きな上昇率を示している。12月と1月の月平均気温は減少傾向である。

日本アルプス周辺の気象官署における、冬季平均気温については統計的に有意な変化傾向を示さず、ほぼ半数の地点では統計的に有意ではないが減少傾向にある。春季と夏季の季節平均気温は、ほぼすべての地点で統計的に有意な上昇傾向を示す。諏訪の年最低気温は、統計的に有意に上昇傾向にある。他の地点に比べて諏訪で最近の気温上昇が顕著なのではなく、過去には特異的に低温となる冬が度々あったからであると考えべきである。アメダス観測地点における冬季平均気温は、すべての地点で統計的に有意な変化傾向を示さず、春から秋にかけての季節平均気温の上昇傾向が、気象官署の上昇傾向よりも緩やかである。

キーワード：気象官署、アメダス、気温通減率、Mann-Kendall検定、御神渡り

1. はじめに

日本での近代的な気温観測は、1872年8月26日に函館で開始され、1873年1月1日からの日平均気温、日最高気温、日最低気温が公開されている。さらに、温暖化現象を説明する際に使われている日本の年平均気温は、1898年分から公表されている。日本の年平均気温は一定の割合で上昇しているのではなく、1898年から1945年まで、1946年から1988年まで、そして1989年以降の3つのステージに分けられることがわかっている（鈴木、2024）。1945年までと1988年までの2つのステージでは、年々変動は見られるが、ステージ内では大きな変化傾向は見られず、ステージ間での気温上昇が顕著である。2つ目のステージから1989年以降のステージへの気温のジャンプ幅が大きい。なお、北極振動に関係した北半球規模での気候変化が1988年と1989年の間で起こったことが報告されている（Watanabe and Nitta, 1999；Yasunaka and Hanawa, 2002）が、第2ステージから1989年以降のステージへのジャンプは、これに関連し

ていると考えられる。

鈴木（2024）では、中部山岳地域での降積雪量の変動に関連して、主な気象観測地点での1989年から2022年までの冬の気温変動について検討した。上高地梓川流域では、近年の降積雪量は増加傾向にあることを示した鈴木（2018）の結果を裏付けるように、中部山岳地域での近年の冬の気温は上昇していないことを報告した。

しかしながら、1989年以降の日本の年平均気温は、明らかに上昇傾向にあることから、検討する気象観測地点を日本アルプス周辺地域まで増やすとともに、季節間での気温の変化傾向の差異を明らかにすることが本稿の目的である。なお、全国の主な地点についても、季節平均気温の変化傾向を議論する。

2. 研究方法

本稿で使用するデータは、すべて気象庁のホームページ（気象庁、2024）で公開されているデータである。その際に、気象官署とアメダス観測地点を区別して議論する。いわゆ

るアメダスは、1974年11月1日から運用が開始され、1979年3月に国内1,316地点で観測所の整備が完了している。それに比べて、気象官署ではより長期間の観測が行われているためである。気象官署とは、気象台や測候所などの有人の観測所を指す。測候所はかつて全国に100ヶ所以上存在したが、1997年から2010年にかけて無人化され、現在では2か所のみである。無人化された地点では、自動気象観測装置が設置され特別地域気象観測所と呼ばれている。特別地域気象観測所では、アメダスの観測要素に加えて気圧や湿度なども観測されている。本稿では、特別地域気象観測所も気象官署として議論する。

本稿で議論する日本の年平均気温や季節平均気温などは、全国15地点の気温の平年値からの偏差で検討されている。15地点としては、網走、根室、寿都、山形、石巻、伏木、飯田、銚子、境、浜田、彦根、宮崎、多度津、名瀬、石垣島が選定されている。これらの地点は、1898年以降観測を継続している気象庁による気象観測所の中から、都市化による影響が小さく、特定の地域に偏らないように選定されている（気象庁、2023）。各地点の年平均気温や季節平均気温などの単純な算術平均を用いずに、各地点の平均気温の平年値（1991～2020年）からの偏差の平均値を用いて、日本の年平均気温や季節平均気温などの経年変化が検討される。

まず、日本と世界の気温の変化傾向の様相が異なることを示し、次いで日本アルプス周辺地域の気温変動を季節性に留意しながら詳細に議論する。日本アルプス周辺地域として研究対象とするのは東経137度と139度の間である。気象官署のみならずアメダス観測地点も含めて解析を行うが、アメダス観測地点については、標高700m以上の地点のみを対象とする。アメダスは1974年11月1日から順次運用されていることと、日本の気温変動の様相が1989年以降に大きく変わっていることから、1989年から2023年までを対象期間とする。なお、気象官署である飯田については、平均気温観測の継続性が保証されていないが、最高気温と最低気温の極値については継続性が保証されているので、最高気温と最低気温のみを対象とする。さらに、アメダス観測地点では、年最高気温と年最低気温について連続性が保証されていないため、気象官署におけるような年最高気温と年最低気温の変動について、統計解析を行うことができない。

それぞれの気温要素の変化傾向を統計的に考察する際には、Mann-Kendall検定を用いる。Mann-Kendall検定結果のp値によって統計的な有意水準を判定し、tau値の正負によって気温要素が上昇傾向にあるか下降傾向にあるかをみる。また、気温要素の変化傾向を（℃/100年）のように量的に表す際には、気温要素を従属変数、西暦年を独立変数とする線形回帰式の独立変数の係数を用いる。

3. 日本と世界の年平均気温の変動

日本と世界の年平均気温の経年変化を図1に示す。日本については、1898年から2023年まで、世界については、

1891年から2023年までを示す。世界については、全球の他に北半球と南半球についても示す。日本では、1898年から2023年まで、全体的には1.35℃/100年の割合で気温が上昇しているが、1989年から2023年の間では、2.56℃/100年の上昇率であり、近年の気温上昇が顕著である。一方で、1891年から2023年までの世界の年平均気温の上昇割合は、0.76℃/100年であり、世界に比べて日本の気温上昇率は約1.8倍である。世界の年平均気温は1976年頃までは比較的安定しており、1977年頃から近年の気温上昇が始まっている。1977年から2023年までの年平均気温の上昇率は、1.84℃/100年である。半球ごとに比較すると、1977年から2023年までの期間での年平均気温の上昇率は、北半球で2.43℃/100年、南半球で1.17℃/100年である。北半球の方が南半球よりも2倍強も年平均気温の上昇率が高い。これは、北半球の方が南半球より人口が多く、二酸化炭素の排出量が大きいたとも、北半球の方が南半球に比べて海洋より陸地のほうが広く、より暖まりやすくなっているためと考えられる。また、同じ期間（1977-2023年）で計算すると、北半球平均（2.43℃/100年）よりも日本（3.15℃/100年）の方が年平均気温の上昇率が大きく、近年の日本の気温上昇率が顕著であることがわかる。日本と世界の年平均気温は、2022年までの数年間は高止まり傾向であったが、2023年の偏差の上昇が大きく、新たなステージへのジャンプが起こっていることも考えられる。

1891年から2023年までの北半球の季節平均気温の経年変化を図2に示す。これまでの133年間では、冬季（前年12月から2月）の季節平均気温が最も大きな上昇率であり、0.87℃/100年となっている。次いで、春季（3月から5月）の0.84℃/100年で、夏季（6月から8月）と秋季（9月から11月）は0.75℃/100年と小さくなっている。北半球では、1976年頃までの約30年は、いずれの季節でも平均気温が若干の減少傾向にあり、1977年からの上昇傾向が顕著である。1977年から2023年までの北半球の季節平均気温は、夏季（2.51℃/100年）と秋季（2.59℃/100年）の気温上昇率が大きく、冬季（2.22℃/100年）の気温上昇率が最も小さくなっている。気温上昇率が季節によって異なるとは言え、冬季の2.22℃/100年から秋季の2.59℃/100年の間であり、北半球では季節による気温上昇率の差異はそれほど大きくはない。

ここで示した北半球における1976年と1977年の間に起こったレジームシフトや気候ジャンプと呼ばれる現象は、Graham (1994)やMiller et al. (1994)によっても確認されている。なお、図1で示した日本における年平均気温の経年変化では、1976年と1977年の間の気候ジャンプは明確ではない。

1898年から2023年までの日本の季節平均気温の経年変化を図3に示す。これまでの126年間では、春季の季節平均気温が最も大きな上昇率であり、1.61℃/100年となっている。次いで、秋季の1.36℃/100年、夏季の1.25℃/100年で、冬季が最小の上昇率で1.19℃/100年となっている。1891年から2023年までの北半球では、冬季の季節平均気温が、四季

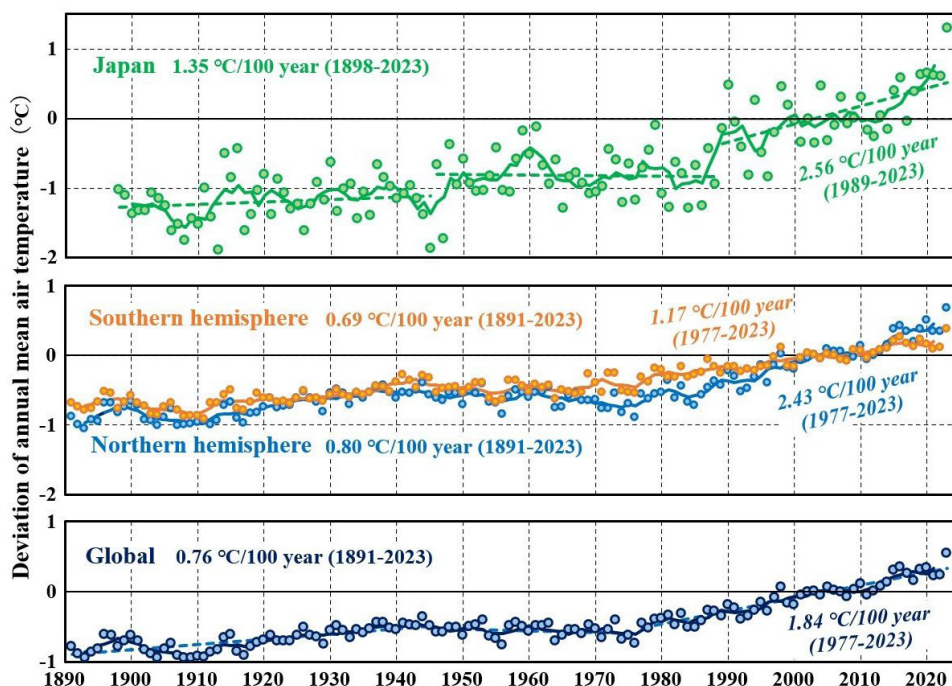


図1 世界と日本における年平均気温偏差の変動

実線：5年移動平均、破線：各ステージごとの回帰直線

Fig. 1 Fluctuations in annual mean temperature deviations in the world and Japan

Solid line: 5 year running mean, dashed line: regression line for each stage

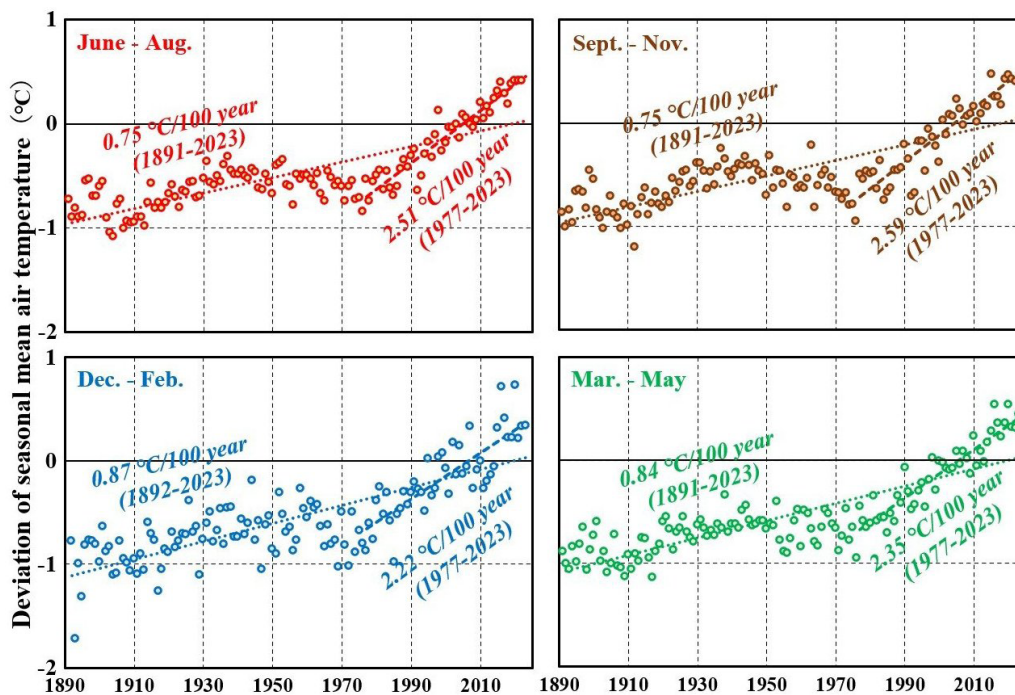


図2 北半球の季節平均気温偏差の変動

Fig. 2 Fluctuations in seasonal mean temperature deviations in the Northern Hemisphere

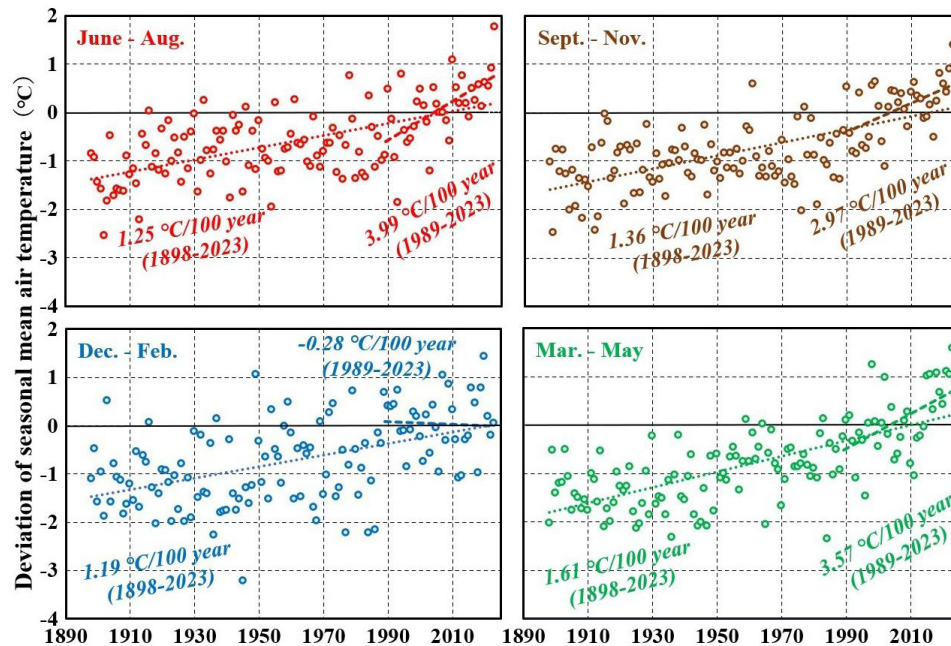


図3 日本の季節平均気温偏差の変動

Fig. 3 Fluctuations in seasonal mean temperature deviations in Japan

の中で最大の上昇率を示すのに対して、日本では冬季の季節平均気温が四季の中で最も小さな上昇率となっている。日本の年平均気温の第3ステージに相当する1989年から2023年までの、季節平均気温の変動についても図3に示す。近年の35年間の季節平均気温の変動は、1898年からの126年間の変動とは異なり、夏季の上昇率が最も高く3.99°C/100年となっている。春季の季節平均気温の上昇率は3.57°C/100年で、秋季は2.97°C/100年である。しかし、冬季の変動は他の季節とは異なり、季節平均気温の変化率が-0.28°C/100年となり、減少傾向である。1989年から2023年までの日本の冬季気温は、年々変動は認められるが上昇傾向にはないことが確認できる。

近年の35年間の日本の冬季平均気温の変動が、他の季節や世界の変化傾向と異なることから、月ごとの平均気温の変化傾向を表1に示す。上段には、1898年から2023年までの月ごとの変化傾向を示すが、3月が1.84°C/100年と最も上昇率が高く、次いで5月の1.71°C/100年である。このことが、季節平均気温の上昇率が春季に最も大きくなることに帰結すると考えられる。しかしながら、3月と5月に挟まれた4月の上昇率は、他の月と大きく異なっていないことについては今後検討が必要である。下段には、1989年から

2023年までの月平均気温の変化率を示すが、ここでも最も上昇率が高いのは3月の4.90°C/100年であり、次いで8月の4.23°C/100年である。4月を除いた3月から9月までは大きな上昇率を示している。一方で、12月の月平均気温の変化率は-0.79°C/100年、1月は-0.59°C/100年と減少傾向である。2月の変化率は0.55°C/100年で、3ヶ月間の変化率の平均は-0.28°C/100年となり、近年35年間の冬季平均気温が減少傾向にあることと整合的である。

1898年からの126年間でも1989年からの35年間でも、月平均気温の上昇率が最も大きな3月と、最も小さな12月の月平均気温の変動を図4に示す。3月については、1988年までのステージでは年々変動は大きい、月平均気温の上昇率が0.66°C/100年と大きな上昇率ではない。第3ステージである1989年から2023年までの間での急激な気温の上昇（上昇率：4.90°C/100年）が、1898年からの126年間の気温上昇（上昇率：1.84°C/100年）をもたらしていると考えられる。12月の月平均気温については、1898年から2023年の間では上昇率が0.98°C/100年と3月のほぼ半分程度である。1989年から2023年までの35年間では、12月の月平均気温は、-0.79°C/100年の減少傾向である。

表1 日本の月平均気温偏差の変化率 (°C /100)

Table 1 Rate of change in monthly mean temperature deviations in Japan (°C /100 year)

period	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
1898-2023	1.07	1.50	1.84	1.29	1.71	1.32	1.21	1.21	1.33	1.40	1.35	0.98
1989-2023	-0.59	0.55	4.90	1.72	4.07	3.80	3.94	4.23	4.13	2.76	1.99	-0.79

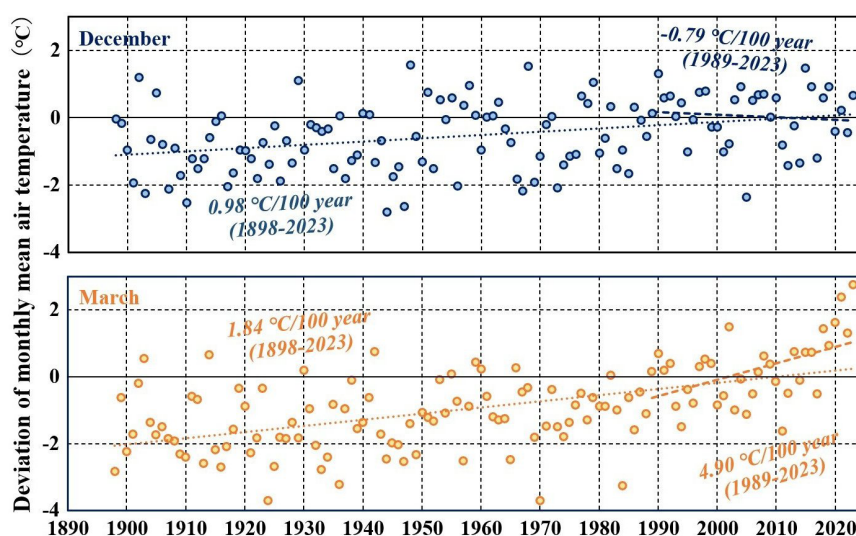


図4 日本の3月と12月の月平均気温偏差の変動

Fig. 4 Fluctuations in monthly mean temperature deviations in March and December in Japan

4. 日本アルプス周辺地域の気温変動

1) 気象官署における季節平均気温の変動

日本の15地点での年平均気温と季節平均気温について前述したが、次に、日本アルプスを含む地域の気温変動について検討する。研究対象地域における気象官署の標高と緯度、経度、そして年平均気温と各季節の季節平均気温の1989年から2023年までの変動についてのMann-Kendall検定結果を表2に示す。年平均気温については、富士山と高田で有意水準5%以下で統計的に有意に上昇傾向にあるが、他の15地点では有意水準1%以下で統計的に有意に上昇傾向にある。冬季平均気温については、有意水準10%以下でも統計的に有意な変動傾向を示す地点はない。しかしながら、17地点のなかの8地点ではtau値がマイナスを示し、統計的に有意ではないが、冬季平均気温が減少傾向にある。春季平均気温については、富士山では有意水準10%以下でも統計的に有意な変動傾向を示さないが、高田では有意水準5%以下で統計的に有意に上昇傾向にある。他の15地点では、有意水準1%以下で有意に上昇傾向にある。夏季平均気温については、冬季と春季の平均気温に統計的に有意な変化傾向が認められない富士山でも、有意水準1%以下で統計的に有意に上昇傾向にある。軽井沢と諏訪の夏季平

向にある。冬季平均気温については、有意水準10%以下でも統計的に有意な変動傾向を示す地点はない。しかしながら、17地点のなかの8地点ではtau値がマイナスを示し、統計的に有意ではないが、冬季平均気温が減少傾向にある。春季平均気温については、富士山では有意水準10%以下でも統計的に有意な変動傾向を示さないが、高田では有意水準5%以下で統計的に有意に上昇傾向にある。他の15地点では、有意水準1%以下で有意に上昇傾向にある。夏季平均気温については、冬季と春季の平均気温に統計的に有意な変化傾向が認められない富士山でも、有意水準1%以下で統計的に有意に上昇傾向にある。軽井沢と諏訪の夏季平

表2 気象官署における年平均気温と季節平均気温のMann-Kendall 検定結果

Table 2 Mann-Kendall test results for annual and seasonal mean temperature fluctuations observed at the meteorological offices in Japan

	Alt. (m)	N. La. (degree)	E. Lo. (degree)	Annual mean Temp.		Winter mean Temp.		Spring mean Temp.		Summer mean Temp.		Autumn mean Temp.	
				tau	pValue	tau	pValue	tau	pValue	tau	pValue	tau	pValue
Fujisan (富士山)	3775.1	35.4	138.7	<i>0.262</i>	<i>0.0321</i>	-0.0745	0.529	0.197	0.101	0.377	0.00144	<i>0.271</i>	<i>0.0221</i>
Karuizawa (軽井沢)	999.1	36.3	138.5	0.359	0.00242	0.00510	0.966	0.331	0.00514	<i>0.262</i>	<i>0.0266</i>	0.181	0.1270
Kawaguchiko (河口湖)	859.6	35.5	138.8	0.414	0.000465	0.0760	0.521	0.373	0.00164	0.316	0.00767	<i>0.256</i>	<i>0.0306</i>
Suwa (諏訪)	760.1	36.0	138.1	0.357	0.00257	0.0561	0.635	0.329	0.00550	<i>0.268</i>	<i>0.0234</i>	0.207	0.0806
Matsumoto (松本)	610.0	36.2	138.0	0.445	0.000169	0.0717	0.544	0.403	0.000658	0.349	0.00316	0.372	0.00166
Takayama (高山)	560.0	36.2	137.3	0.365	0.00206	-0.0274	0.817	0.337	0.00440	0.374	0.00156	0.321	0.00676
Nagano (長野)	418.2	36.7	138.2	0.348	0.00331	-0.0391	0.741	0.332	0.00500	0.388	0.00104	<i>0.276</i>	<i>0.0196</i>
Kofu (甲府)	272.8	35.7	138.6	0.449	0.000148	0.0694	0.558	0.389	0.00102	0.357	0.00254	<i>0.294</i>	<i>0.0131</i>
Irouzaki (石廊崎)	52.2	34.6	138.8	0.309	0.00912	-0.0221	0.852	0.323	0.00641	0.344	0.00362	0.223	0.0593
Hamamatsu (浜松)	45.9	34.8	137.7	0.411	0.000513	0.0422	0.722	0.400	0.000717	0.384	0.00117	0.329	0.00550
Omaezaki (御前崎)	45.1	34.6	138.2	0.382	0.00127	0.0287	0.808	0.376	0.00149	0.399	0.000748	0.328	0.00558
Mishima (三島)	20.5	35.1	138.9	0.427	0.000306	0.0642	0.587	0.368	0.00188	0.390	0.000996	0.331	0.00511
Shizuoka (静岡)	14.1	35.0	138.4	0.443	0.000183	0.0608	0.608	0.399	0.000748	0.367	0.00192	0.375	0.00152
Takada (高田)	12.9	37.1	138.2	<i>0.262</i>	<i>0.0266</i>	-0.165	0.162	<i>0.284</i>	<i>0.0166</i>	0.338	0.00427	0.219	0.0637
Fushiki (伏木)	11.6	36.8	137.1	0.329	0.00546	-0.0942	0.426	0.322	0.00655	0.392	0.000938	<i>0.257</i>	<i>0.0296</i>
Toyama (富山)	8.6	36.7	137.2	0.452	0.000132	-0.0253	0.830	0.396	0.000829	0.437	0.000224	0.307	0.00953
Irako (伊良湖)	6.2	34.6	137.1	0.404	0.000633	-0.00508	0.966	0.388	0.00104	0.373	0.00164	<i>0.290</i>	<i>0.0142</i>

Red: warming, Blue: cooling

Bold: statistically significant at a significance level of 1% or less, Italic: statistically significant at a significance level of 5% or less

均気温のみが有意水準5%以下で統計的に有意に上昇傾向にあるが、他の15地点については、有意水準1%以下で統計的に有意に上昇傾向にある。秋季平均気温については、軽井沢では有意水準10%以下でも統計的に有意な変化傾向を示さず、諏訪、石廊崎と高田では、有意水準5%以下で統計的に有意な変化傾向を示さない。富士山を含む6地点では有意水準5%以下で統計的に有意に上昇傾向を示す。他の7地点では有意水準1%以下で統計的に有意に上昇傾向にある。

東経137度と139度の間に位置する気象官署における、1989年から2023年までの季節平均気温の統計解析の結果、冬季については統計的に有意な変化傾向を示さず、ほぼ半数の地点では統計的に有意ではないが減少傾向にある。春季と夏季については、ほぼすべての地点で統計的に有意な上昇傾向を示す。春季と夏季に比べて、秋季の気温上昇傾向は、統計的な有意性が小さくなるが上昇傾向が認められる。

対象の気象官署の中で最も標高が高く、夏季の平均気温のみが、有意水準1%以下で統計的に有意に上昇傾向にある富士山と、対象地点の中で経度がほぼ中央の松本（東経137.97度）における季節平均気温の変動を図5と図6に示す。富士山の冬季平均気温は、年々変動の幅が大きい、35年間の変化傾向は統計的に有意ではない。春季平均気温の変動幅が最も大きい、夏季平均気温は年ごとの変動幅が最も小さく、近年35年間は緩やかな上昇傾向にある。

富士山も松本も、季節平均気温全体の変動幅がほぼ25℃であるが、両地点では大きな差異が認められる。富士山では、冬季平均気温が最も低く、春季、秋季、夏季へと、約6℃程度ごとの温度幅で気温が上昇するが、松本では、春季と秋季の温度差が小さく、冬季は春季に比べて低温の度合いが大きく、夏季は秋季に比べて高温の度合いが大きい。これは、松本が盆地に位置しており、冬は冷えやすく夏は暑くなりやすい盆地性気候の特徴を示しているためであると考えられる。

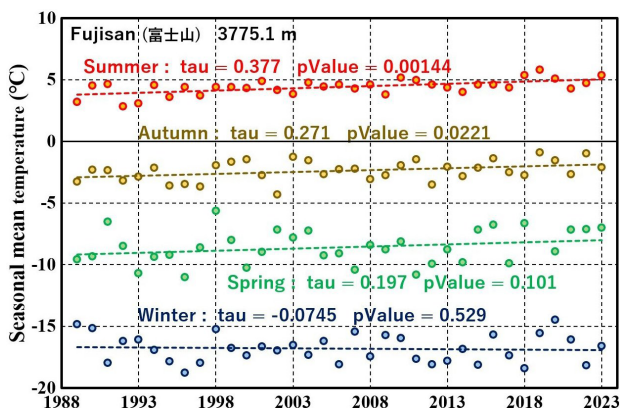


図5 富士山における季節平均気温の変動
Fig. 5 Fluctuations in seasonal mean temperature at Mt. Fuji

2) 気象官署における年最高気温・年最低気温の変動

研究対象地域の気象官署における冬季平均気温が、1989年から2023年までの35年間では、統計的に有意な変化傾向を示さず、冬は暖かくなっていないことを示した。これは、3ヶ月間の平均気温についての解析結果であるが、次に年最低気温と年最高気温について検討する。研究対象地域の気象官署における年最高気温と年最低気温の1989年から2023年までの変動についてのMann-Kendall検定結果を表3に示す。年最高気温の変動については、18地点の中で、富士山や高山をはじめとする6地点では、有意水準1%以下で統計的に有意に上昇傾向にある。河口湖、浜松、富山と伊良湖では有意水準5%以下で統計的に有意に上昇傾向が見られるが軽井沢、甲府、静岡と伏木では有意水準10%以下でも統計的に有意な変化傾向が認められない。夏季平均気温の変化傾向では、15地点では有意水準1%以下で統計的に有意に上昇傾向にあるが、年最高気温については、有意水準1%以下で統計的に有意に上昇傾向にある地点は6地点に過ぎない。近年の35年間の夏季は平均的に気温が上昇しているが、極値としての年最高気温の上昇は、統計的に有意性が認められない地点も半数近くにのぼることが明らかになった。

年最高気温が有意水準1%以下で統計的に有意に上昇傾向にあるにもかかわらず、年最低気温変動のMann-Kendall検定のtau値がマイナスである長野における年最高気温と年最低気温の変化傾向を図7に示す。長野では、1989年や1993年は年最高気温が33℃台であったが、ここ10年ほどはほとんどが36℃以上となっており、年最高気温の上昇傾向が顕著である。一方、年最低気温は2018年や2023年にも-11℃を下まわることがあり、年々変動が大きい。

年最低気温については、諏訪でのみ有意水準5%以下で統計的に有意に上昇傾向にあるが、他の17地点では統計的に有意な変化傾向が認められない。諏訪の冬季平均気温には、統計的に有意な変化傾向は認められないが、年最低気温は統計的に有意に上昇していることが、近年に“御神渡り”現象が出現しにくくなっていることに関連すると推察できる。

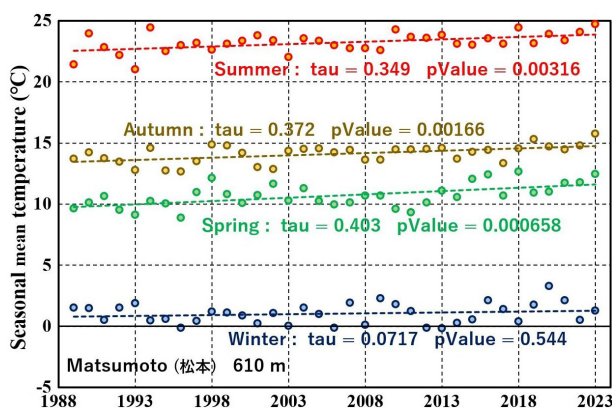


図6 松本における季節平均気温の変動
Fig. 6 Fluctuations in seasonal mean temperature in Matsumoto

表3 気象官署における年最高気温と年最低気温のMann-Kendall 検定結果

Table 3 Mann-Kendall test results for annual maximum temperature and annual minimum temperature fluctuations observed at the meteorological offices in Japan

	Alt. (m)	N. La. (degree)	E. Lo.	Annual maximum Temp.		Annual minimum Temp.	
				tau	pValue	tau	pValue
Fujisan (富士山)	3775.1	35.4	138.7	0.436	0.000362	0.0376	0.754
Karuzawa (軽井沢)	999.1	36.3	138.5	0.100	0.396	0.134	0.259
Kawaguchiko (河口湖)	859.6	35.5	138.8	<i>0.300</i>	<i>0.0114</i>	0.0542	0.647
Suwa (諏訪)	760.1	36.0	138.1	0.204	0.0849	<i>0.285</i>	<i>0.0159</i>
Matsumoto (松本)	610.0	36.2	138.0	0.227	0.0555	0.175	0.140
Takayama (高山)	560.0	36.2	137.3	0.458	0.000111	0.168	0.156
Iida (飯田)	516.4	35.5	137.8	0.342	0.00381	0.176	0.137
Nagano (長野)	418.2	36.7	138.2	0.361	0.00230	-0.0391	0.741
Kofu (甲府)	272.8	35.7	138.6	0.167	0.159	-0.0867	0.464
Irouzaki (石炭崎)	52.2	34.6	138.8	0.320	0.00681	0.00171	0.988
Hamamatsu (浜松)	45.9	34.8	137.7	<i>0.287</i>	<i>0.0153</i>	-0.107	0.364
Omaezaki (御前崎)	45.1	34.6	138.2	0.218	0.0656	0.0478	0.686
Mishima (三島)	20.5	35.1	138.9	0.404	0.000631	0.1702	0.150
Shizuoka (静岡)	14.1	35.0	138.4	0.0188	0.874	0.1280	0.280
Takada (高田)	12.9	37.1	138.2	0.214	0.0710	-0.058	0.625
Fushiki (伏木)	11.6	36.8	137.1	0.102	0.391	-0.00170	0.989
Toyama (富山)	8.6	36.7	137.2	<i>0.284</i>	<i>0.0166</i>	0.1330	0.261
Irako (伊良湖)	6.2	34.6	137.1	<i>0.283</i>	<i>0.0170</i>	-0.09322	0.431

Red: warming, Blue: cooling

Bold: statistically significant at a significance level of 1% or less,

Italic: statistically significant at a significance level of 5% or less

年最低気温の変化傾向で唯一統計的に有意に上昇傾向を示した諏訪について、年最高気温と年最低気温の変動を図8に示す。諏訪では、2001年、2003年と2008年には年最低気温が-16℃を下まわっているが、ここ10年間ではほとんどの年で-12℃を下まわることもなくなっている。諏訪湖で御神渡りが発生するように全面結氷すれば、低温がより促進されるが、結氷しなければ湖水の大きな熱容量によって冷却が進行しない。諏訪湖が結氷するか否かで湖周辺の冬季気温に大きな差異が生じることになる。

諏訪湖のような水体は陸面に比べて熱容量が大きいため

に、一般には湖水面での放射冷却のみによって、凍結するほどの低温になることは考えにくい。諏訪盆地の最下部に諏訪湖が位置しており、静穏な夜間における斜面下降流（森・近藤，1984）によって、盆地底の諏訪湖が冷却されていくと考えられる。日中は太陽による短波放射を受けている盆地斜面が、静穏な夜間には上向きの長波放射により冷却され、地面に接する大気も冷やされて密度が大きくなり斜面下降流が生じる。盆地底に冷気が堆積し、湖面が氷に覆われると、日中の太陽放射の反射率が大きくなり、水体から大気への顕熱輸送も遮断されるため、冷却が促進さ

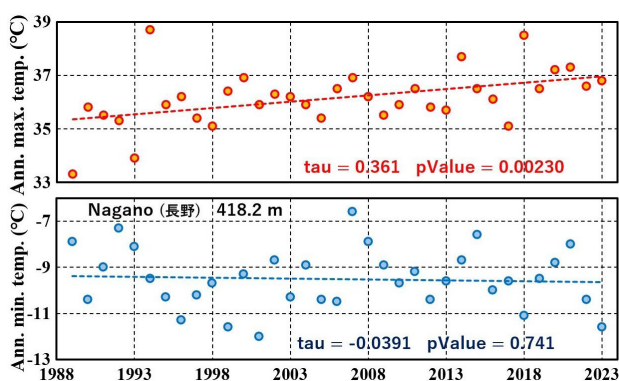


図7 長野における年最高気温と年最低気温の変動

Fig. 7 Fluctuations in annual maximum and minimum temperature in Nagano

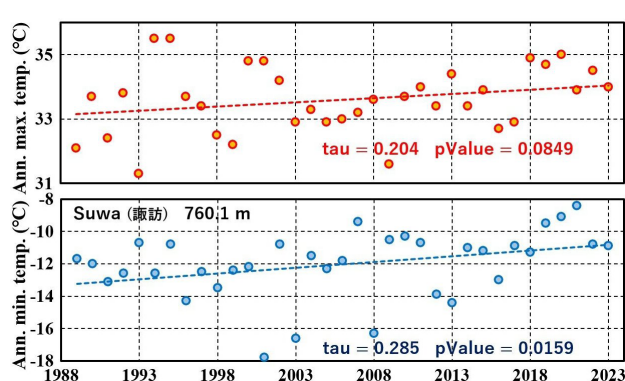


図8 諏訪における年最高気温と年最低気温の変動

Fig. 8 Fluctuations in annual maximum and minimum temperature in Suwa

れ、結果として御神渡りが発生することになる。

しかし近年では、諏訪湖の周囲が住宅によって埋め尽くされるようになるとともに、生活様式の変化により、冬季の住宅内での暖房のための熱発生量が大きくなっている。そのために、湖周に相対的に高温のバリアができ、斜面下降流の流下が阻害されている可能性がある。明けの海（御神渡りが出現しない冬）となっているここ数年は、中部地域が寒冬となっても諏訪湖では冷却が促進されない要因と考えられる。年最低気温が唯一上昇傾向にある諏訪では、他の地点に比べて最近の気温上昇が顕著なのではなく、過去には特異的に低温となる冬が度々あったからであると考えべきである。

3) アメダス観測地点における季節平均気温の変動

日本アルプス周辺の東経137度と139度の間で標高700 m以上に位置する、アメダス（地域気象観測所）における年平均気温と季節平均気温の変動に対するMann-Kendall検定結果を表4に示す。解析期間は、1989年から2023年までの35年間である。

年平均気温の変動については、有意水準1%以下で統計的に有意に上昇傾向にあるのは21地点中12地点に過ぎず、4地点では有意水準5%以下で統計的に有意に上昇傾向にあり、5地点では、統計的に有意な変化傾向を示さない。表2に示した気象官署については、17地点中15地点で有意水準1%以下で統計的に有意に上昇傾向にあり、2地点では有意水準5%以下で統計的に有意に上昇傾向にあることは異なる傾向である。

冬季平均気温については、すべての地点で統計的に有意

な変化傾向を示さない。21地点中12地点ではMann-Kendall検定のtau値がマイナスを示し、9地点ではtau値がプラスである。

春季平均気温については、21地点中12地点で有意水準1%以下で統計的に有意に上昇傾向にあり、6地点で有意水準5%以下で統計的に有意に上昇傾向にある。残りの3地点では統計的に有意な変動ではないが、tau値がプラスを示す。表2に示した気象官署の春季平均気温変動については、17地点中15地点で有意水準1%以下で統計的に有意に上昇傾向にあり、1地点では有意水準5%以下で統計的に有意に上昇傾向であることと比較すると、アメダス観測地点では、春季において気象官署ほど明瞭な気温上昇にはないことを示す。

夏季平均気温については、21地点中11地点で有意水準1%以下で統計的に有意に上昇傾向にあり、5地点で有意水準5%以下で統計的に有意に上昇傾向にある。残りの5地点では統計的に有意な変動ではないが、tau値がプラスを示す。表2に示した気象官署での夏季平均気温変動については、17地点中15地点で有意水準1%以下で統計的に有意に上昇傾向にあり、2地点では有意水準5%以下で統計的に有意に上昇傾向であることと比較すると、アメダス観測地点では、夏季においても気象官署ほど明瞭な気温上昇にはないことを示す。

秋季平均気温については、21地点中3地点でのみ有意水準1%以下で統計的に有意に上昇傾向にあり、5地点で有意水準5%以下で統計的に有意に上昇傾向にある。残りの13地点では統計的に有意な変動ではないが、tau値がプラスを示す。表2に示した気象官署での秋季平均気温変動につ

表4 アメダス観測地点における年平均気温と季節平均気温のMann-Kendall 検定結果

Table 4 Mann-Kendall test results for annual and seasonal mean temperature fluctuations observed at the AMeDAS points in Japan

	Alt. (m)	N. La. (degree)	E. Lo.	Annual mean Temp.		Winter mean Temp.		Spring mean Temp.		Summer mean Temp.		Autumn mean Temp.	
				tau	pValue	tau	pValue	tau	pValue	tau	pValue	tau	pValue
Nobeyama (野辺山)	1350	35.9	138.5	0.334	0.00476	0.0320	0.787	0.332	0.00507	0.352	0.00292	0.199	0.0919
Sugadaira (菅平)	1253	36.5	138.3	0.130	0.288	-0.135	0.254	0.199	0.0919	0.2085	0.0830	0.0484	0.687
Tashiro (田代)	1230	36.5	138.5	0.344	0.00368	-0.00507	0.966	0.383	0.00119	<i>0.251</i>	<i>0.0339</i>	0.2002	0.0907
Kusatsu (草津)	1223	36.6	138.6	<i>0.286</i>	<i>0.0155</i>	-0.0977	0.409	<i>0.296</i>	<i>0.0125</i>	<i>0.283</i>	<i>0.0168</i>	0.1947	0.100
Kaidakogen (開田高原)	1130	35.9	137.6	<i>0.236</i>	<i>0.0498</i>	-0.0489	0.679	0.217	0.0665	0.156	0.189	0.170	0.151
Nagawa (奈川)	1068	36.1	137.7	<i>0.258</i>	<i>0.0292</i>	-0.0625	0.597	<i>0.284</i>	<i>0.0164</i>	0.311	0.00865	0.196	0.0981
Haramura (原村)	1017	36.0	138.2	0.363	0.00252	0.0199	0.869	0.352	0.00290	0.347	0.00332	0.232	0.0501
Mumaya (六軒)	1015	36.1	137.0	0.369	0.00183	0.0812	0.493	0.311	0.00869	0.406	0.000606	<i>0.298</i>	<i>0.0118</i>
Yamanaka (山中)	992	35.4	138.8	0.457	0.000112	0.0708	0.550	0.418	0.000413	0.519	0.0000114	0.371	0.00174
Toumi (東御)	958	36.4	138.4	0.172	0.147	-0.0926	0.434	0.230	0.0524	0.199	0.0927	0.064	0.587
Namiai (浪合)	940	35.4	137.7	0.215	0.0699	-0.0523	0.659	<i>0.261</i>	<i>0.0275</i>	0.147	0.213	0.163	0.170
Miyanomae (宮の前)	930	36.0	137.4	0.314	0.00799	-0.0271	0.819	<i>0.295</i>	<i>0.0128</i>	0.420	0.000387	<i>0.258</i>	<i>0.0290</i>
Oizumi (大泉)	867	35.9	138.4	0.503	0.0000211	0.103	0.384	0.441	0.000194	0.479	0.0000512	0.417	0.000421
Omachi (大町)	784	36.5	137.8	0.341	0.00400	-0.0338	0.775	0.341	0.00405	0.334	0.0047	0.224	0.0589
Tochio (栃尾)	765	36.2	137.5	<i>0.251</i>	<i>0.0340</i>	-0.106	0.370	<i>0.282</i>	<i>0.0171</i>	<i>0.296</i>	<i>0.0123</i>	0.207	0.0808
Ikawa (井川)	755	35.2	138.2	0.180	0.128	-0.1281	0.279	0.309	0.00912	0.188	0.112	0.152	0.199
Kisofukushima (木曽福島)	750	35.8	137.7	0.405	0.000914	0.0322	0.789	0.352	0.00338	0.390	0.00119	<i>0.273</i>	<i>0.0231</i>
Tatsuno (辰野)	732	36.0	138.0	0.471	0.0000690	0.146	0.216	0.410	0.000535	0.446	0.000162	0.427	0.000305
Iijima (飯島)	728	35.7	137.9	0.317	0.00734	0.0034	0.977	0.320	0.00679	<i>0.243</i>	<i>0.0397</i>	<i>0.233</i>	<i>0.0487</i>
Tatesina (立科)	715	36.3	138.3	0.395	0.000846	0.0169	0.887	0.356	0.00260	0.421	0.000379	<i>0.256</i>	<i>0.0303</i>
Shirouma (白馬)	703	36.7	137.9	0.226	0.0560	-0.0691	0.559	<i>0.269</i>	<i>0.0230</i>	<i>0.233</i>	<i>0.0486</i>	0.152	0.199

Red: warning, Blue: cooling

Bold: statistically significant at a significance level of 1% or less, Italic: statistically significant at a significance level of 5% or less

いては、17地点中7地点で有意水準1%以下で統計的に有意に上昇傾向にあり、6地点では有意水準5%以下で統計的に有意に上昇傾向であることと比較すると、アメダス観測地点では、秋季においても気象官署ほど明瞭な気温上昇にはないことを示す。

以上のように、アメダス観測地点では気象官署よりも春から秋にかけての季節平均気温の上昇傾向が緩やかであることがわかる。これらの差異は、気象官署は比較的都市的な環境に設置され、アメダス観測地点は非都市的な環境に設置されていることに関係すると推察される。このことは、前報（鈴木，2024）でも述べたように、世界的な気候変動にいわゆる都市気候が加味されていると考えられる。一方で、冬季平均気温の変動は、気象官署でもアメダス観測地点でも、統計的に有意な変化傾向を示さず、tau値がマイナスを示す地点が半数程度認められる。

1989年から2023年までの、アメダス観測地点における年平均気温と季節平均気温について、いずれの変動も有意水準5%以下で統計的に有意な変化傾向を示さない地点は、菅平と東御であるが、菅平の季節平均気温変動について図9に示す。菅平の春と夏については、季節平均気温変動のMann-Kendall検定結果では、有意水準10%以下では統計的

に有意に上昇傾向にあり、今後の気温の推移次第では、さらに上昇傾向が顕著になる可能性がある。一方で、秋季平均気温は多少の年々変動はあっても、平均気温の下限は8℃前後、上限は10℃前後で安定している。冬季平均気温変動のtau値がマイナスを示すように、最近でも冬季平均気温が-6℃前後になる年がある。さらに、2023年の年最低気温は-27.0℃を観測し、ここ20年ほどでは最低の記録である。

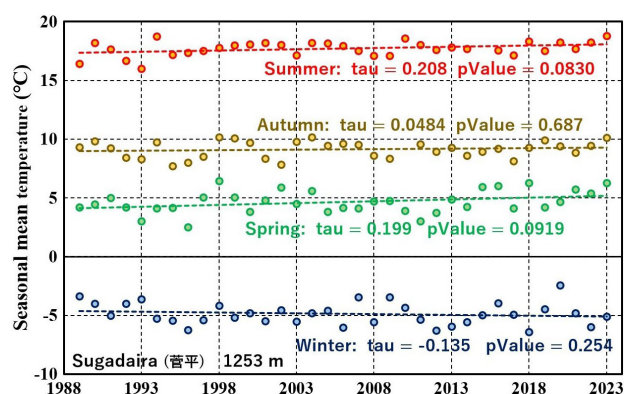


図9 菅平における季節平均気温の変動

Fig. 9 Fluctuations in seasonal mean temperature at Sugadaira

4) 季節平均気温変動と標高の関係

季節平均気温変動に都市気候が影響している可能性を前述したが、日本では低標高地域に多くの都市がある。表2に示すように、研究対象地域では、富士山を除くと標高1000 m以上には気象官署が存在しないことと対応している。近年35年間の季節平均気温の変動が、気象官署とアメダス観測地点では異なっていることを示したが、季節平均気温の変化傾向と気象観測地点の標高との関係を図10に示す。ここでは、表4に示したアメダス観測地点のすべてと表2に示した気象官署で甲府（272.8 m）よりも標高が高い地点について図示する。甲府よりも標高が高い地点は、広義の中部山岳地域に属し、石廊崎から伊良湖までは標高が60 m未満で海岸に近く海洋性気候の影響を受けていると考えられるためである。

冬季平均気温は、すべての地点で統計的に有意な変化傾向を示さず、約半数の地点でMann-Kendall検定のtau値はマイナスである。春季と夏季の平均気温は、多くの地点で有意水準5%以下で統計的に有意に上昇傾向にある。秋季平均気温は、約半数の地点で有意水準5%以下でも統計的に有意な変化傾向を示さない。統計的に有意な変化傾向を示さないの

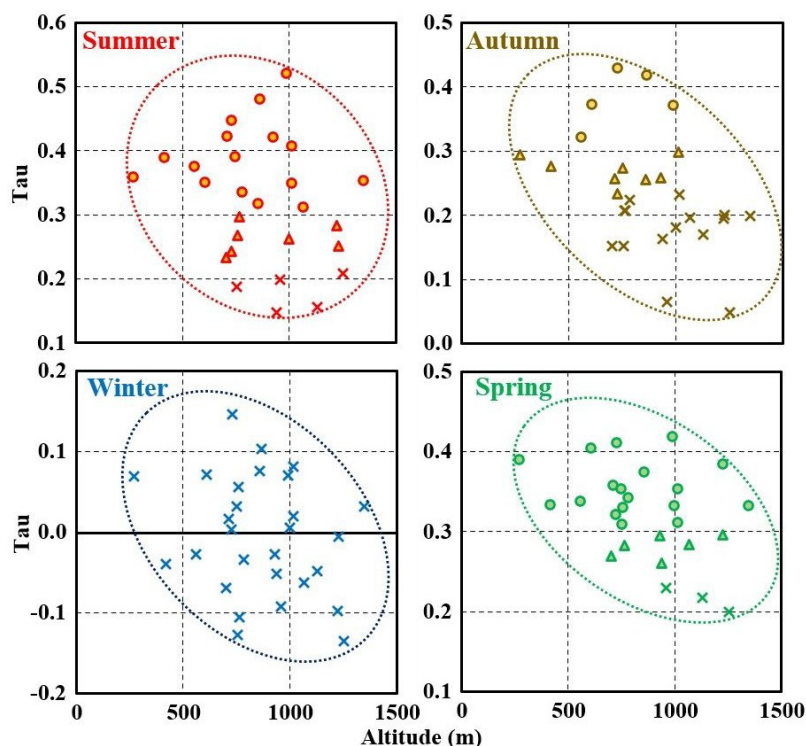


図10 季節平均気温の変化傾向のMann-Kendall検定のtau値と観測地点の標高との関係
○：有意水準1%以下で統計的に有意，△：有意水準5%以下で統計的に有意，×：統計的に有意性なし

Fig. 10 Relationship between the tau value of the Mann-Kendall test for observed trend in seasonal mean temperature and altitude of the observation points

○: statistically significant at a significance level of 1% or less, △: statistically significant at a significance level of 5% or less, ×: not statistically significant

は、標高が高い地点であり、標高1000 m以上ではほとんどが有意な変化傾向を示さない。各季節平均気温の変動を示すtau値と標高の関係は、いずれも右肩下がりの傾向が認められる。標高によって一義的に季節平均気温の変動が規定されているのか、前述のような都市気候の影響であるかは今後の検討課題であるが、少なくとも、標高が高くなるに従い季節平均気温の上昇傾向は小さくなる。

気温と標高の関係を議論する際には、標高が高くなるに従い気温が低下する気温通減率が問題となる。研究対象地域には、日本で最も標高が高い富士山(3775.1 m)があり、近傍には気象官署の河口湖(859.6 m)と甲府(272.8 m)がある。この3カ所の年平均気温データが揃う、1933年から2023年までの年平均気温の平均値と観測地点の標高の関係を図11に示す。年平均気温と標高はほぼ直線の関係を示し、気温通減率は $0.58^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ となる。しかしながら、表2に示したように、甲府、河口湖、富士山と標高が高くなるに従い年平均気温変動のtau値は小さくなり、気温の上昇傾向が不明瞭となる。1933年から2023年までの3カ所における年平均気温の変動を図12に示す。過去91年間の気温上昇率は、甲府で $2.8^{\circ}\text{C}/100\text{ year}$ 、河口湖で $2.6^{\circ}\text{C}/100\text{ year}$ 、富士山で $1.4^{\circ}\text{C}/100\text{ year}$ となり、標高が高くなるに従い気温上昇率が低下する。同様に、91年間の年変化傾向のMann-Kendall検定によるtau値も、標高が高くなるに従い小さくなっている。特徴的なのは、日本各地で年平均気温が過去最高となった2023年に、甲府と河口湖では過去最高気温を記録しているが、富士山では、1998年の年平均気温よりも低く、2016年と同程度である。標高が低い地点では、標高

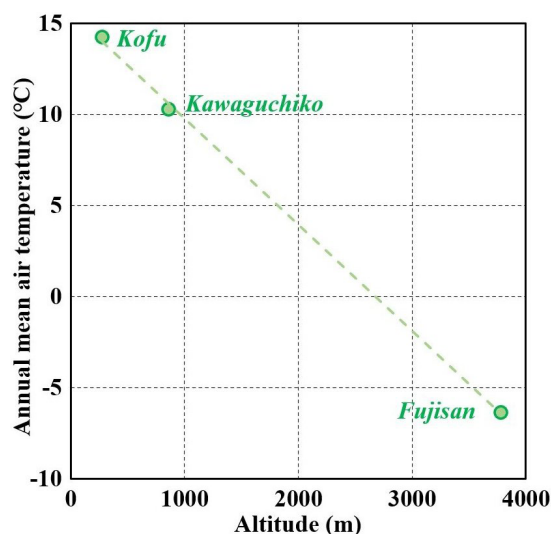


図11 富士山北麓における観測地点の標高と年平均気温の関係

Fig. 11 Relationship between the altitude of the observation points at the northern foot of Mt. Fuji and the annual mean temperature

が高い地点よりも気温上昇率が大いことから、気温通減率も年々変動することが考えられる。甲府、河口湖、富士山の3カ所における、1933年から2023年までの気温通減率の変動を図13に示す。気温通減率は、統計的に有意に上昇傾向にある。1933年から2023年までの91年間での年平均気温の平均値から求めた平均気温通減率は $0.58^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ であ

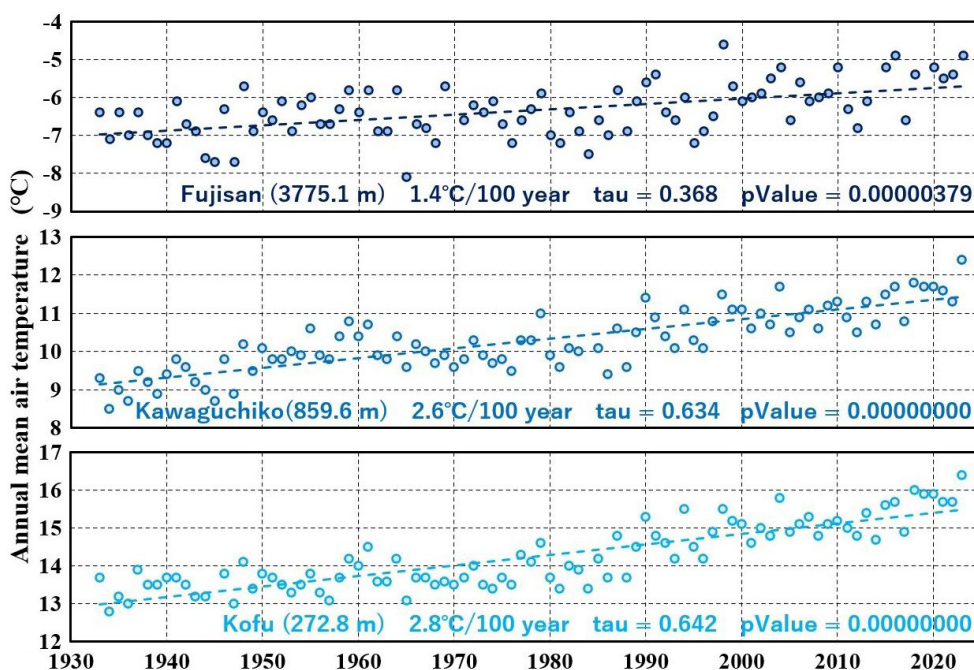


図12 富士山北麓における年平均気温の変動

Fig. 12 Fluctuations in the annual average temperature in the northern foot of Mt. Fuji

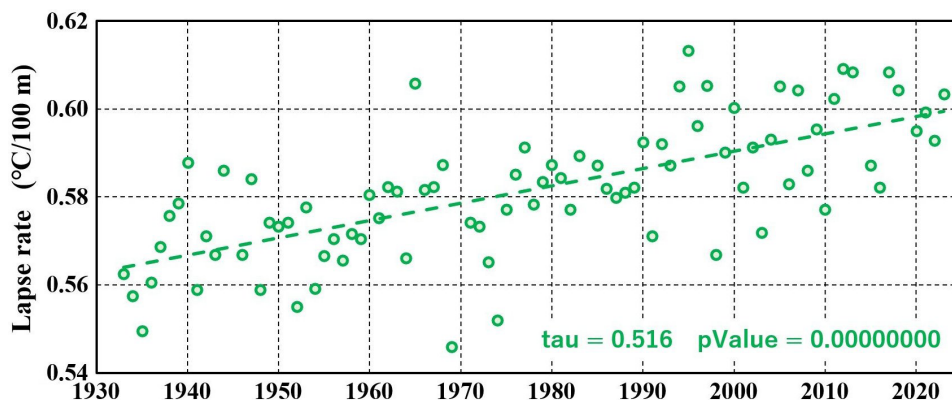


図13 富士山北麓における気温逓減率の変動

Fig. 13 Fluctuations in the temperature lapse rate in the northern foot of Mt. Fuji

るが、気温逓減率はこの91年間で $0.56^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ から $0.60^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 程度まで上昇している。気温逓減率は、比湿が大きければ湿潤断熱減率に近づき、比湿が小さくなるに従い乾燥断熱減率に近づいていく。しかしながら、図12に示したような3地点での気温上昇傾向が、地球規模での気温上昇に対応するとすれば、比湿は大きくなると考えられるが、逆に乾燥断熱減率に近づいていることから、富士山北麓での気温逓減率の近年の上昇傾向は、地球規模での変動に対する応答ではなく、地域レベルでの現象であることが考えられる。地球温暖化の原因は、大気からの下向き長波放射の増加によって説明される。富士山はコニーデ型火山で円錐形の独立峰であることから、山頂付近の地表面積は小さく、下向きの長波放射を吸収し地表面温度を上昇させる効果が、山麓の地点に比べて少ない。さらに、甲府や河口湖では都市気候の影響もあり近年の気温上昇が富士山よりも顕著であることが、気温逓減率の上昇に帰結していると考えられる。

5. 全国での気温変動

日本アルプス周辺地域での、近年の気温変動について前述したが、比較のために、全国における近年の気温変動について検討する。北海道については各振興局所在地、府県については府県庁所在地の気象官署またはアメダスにおける1989年から2023年までの年平均気温と季節平均気温の変化傾向のMann-Kendall検定結果を表5に示す。東京のように、解析期間での気温データの継続性が担保されていない地点は除外する。

年平均気温については、48地点のなかで40地点では有意水準1%以下で統計的に有意に上昇傾向にあるが、北海道の5地点と青森、大阪、広島は8地点では有意水準5%以下で統計的に有意な上昇傾向を示す。

冬季平均気温については、有意水準10%以下でも統計的に有意な変化傾向を示す地点は1地点も無い。さらに、全国の約2/3に相当する31地点では、tau値がマイナスであり、統計的に有意ではないが、冬季平均気温は下降傾向である。表5の気温観測地点は緯度の高低順に並んでいるが、より

北方の地点では冬季平均気温が減少傾向であり、北海道と東北の全地点と富山・長野までがマイナスのtau値を示す。春季平均気温については、江差を除く47地点で有意水準5%以下で統計的に有意な上昇傾向を示す。季節平均気温では、春季平均気温が最も顕著に上昇傾向にある。

夏季平均気温については、有意水準1%以下で統計的に有意な上昇傾向を示すのは30地点で、有意水準5%以下で統計的に有意な上昇傾向を示すのは10地点である。8地点については、有意水準5%以下で統計的に有意な変化傾向を示さない。

秋季平均気温については、20地点で有意水準1%以下で統計的に有意な上昇傾向を示し、22地点で有意水準5%以下で統計的に有意な上昇傾向を示す。6地点については、有意水準5%以下で統計的に有意な変化傾向を示さない。この6地点のうち4地点が北海道である。

夏季を除く冬季、春季、秋季ともに北方の地域で季節平均気温の上昇傾向が穏やかである。また、春季を除く冬季、夏季、秋季のいずれでも、有意水準5%以下で統計的に有意な変化傾向を示さないのは、大阪と長崎である。この2地点のみに共通する地理的な要因は不明であり、今後の検討課題である。

日本アルプス周辺の気象観測地点における季節平均気温の変化傾向と標高との関係については、図10で示した。しかし、表5に示した地点では長野の418.2 mが最高標高で、次いで甲府の272.8 mである。多くの地点が100 m以下の標高であり、季節平均気温の変化傾向と標高とは関係性が認められない。前述のように、緯度と季節平均気温の変化傾向との相関が考えられるので、両者の関係を図14に示す。

春季の那覇を除くと、夏季を除く季節の季節平均気温の変化傾向を示すtau値は、緯度との相関性が認められる。那覇における季節平均気温の変化傾向は極めて特異であり、冬季と秋季には全国で最も高いtau値を示し、気温の上昇傾向が他の地点に比べて明瞭であるが、春季と夏季はtau値が極めて小さく、気温の上昇傾向が不明瞭となる。冬季平均気温はすべての地点で、有意水準10%以下でも統計的に有意な変化傾向を示さない。しかしながら、tau値

表5 全国における年平均気温と季節平均気温のMann-Kendall 検定結果

Table 5 Mann-Kendall test results for annual and seasonal mean temperature fluctuations observed in Japan

	Alt. (m)	N. La. (degree)	E. Lo.	Annual mean Temp.		Winter mean Temp.		Spring mean Temp.		Summer mean Temp.		Autumn mean Temp.	
				tau	pValue	tau	pValue	tau	pValue	tau	pValue	tau	pValue
Wakkanai (稚内)	2.8	45.4	141.7	<i>0.293</i>	<i>0.0134</i>	-0.184	0.120	<i>0.255</i>	<i>0.0311</i>	0.219	0.0637	<i>0.233</i>	<i>0.0487</i>
Abashiri (網走)	37.6	44.0	144.3	<i>0.299</i>	<i>0.0114</i>	-0.113	0.338	<i>0.290</i>	<i>0.0143</i>	<i>0.245</i>	<i>0.0385</i>	<i>0.238</i>	<i>0.0445</i>
Rumoi (留萌)	23.6	43.9	141.6	<i>0.263</i>	<i>0.0263</i>	-0.123	0.297	<i>0.270</i>	<i>0.0228</i>	<i>0.294</i>	<i>0.0131</i>	0.137	0.2470
Nemuro (根室)	25.2	43.3	145.6	<i>0.339</i>	<i>0.00418</i>	-0.140	0.236	<i>0.327</i>	<i>0.00574</i>	<i>0.282</i>	<i>0.0173</i>	<i>0.276</i>	<i>0.0198</i>
Iwamizawa (岩見沢)	42.3	43.2	141.8	<i>0.322</i>	<i>0.00650</i>	-0.135	0.254	<i>0.274</i>	<i>0.0204</i>	<i>0.297</i>	<i>0.0122</i>	0.187	0.1140
Sapporo (札幌)	17.4	43.1	141.3	<i>0.365</i>	<i>0.00206</i>	-0.144	0.225	<i>0.300</i>	<i>0.0111</i>	<i>0.331</i>	<i>0.00519</i>	<i>0.241</i>	<i>0.0419</i>
Obihiro (帯広)	38.4	42.9	143.2	<i>0.407</i>	<i>0.000582</i>	-0.030	0.797	<i>0.355</i>	<i>0.00269</i>	<i>0.336</i>	<i>0.00457</i>	<i>0.285</i>	<i>0.0159</i>
Kutchan (倶知安)	176.1	42.9	140.8	<i>0.287</i>	<i>0.0153</i>	-0.151	0.203	<i>0.272</i>	<i>0.0213</i>	<i>0.298</i>	<i>0.0118</i>	0.139	0.241
Muroran (室蘭)	39.9	42.3	141.0	<i>0.365</i>	<i>0.00202</i>	-0.125	0.290	<i>0.300</i>	<i>0.0111</i>	<i>0.299</i>	<i>0.0115</i>	<i>0.235</i>	<i>0.0473</i>
Wakkanai (稚内)	36.7	42.2	142.8	<i>0.311</i>	<i>0.00850</i>	-0.140	0.235	<i>0.339</i>	<i>0.00415</i>	<i>0.348</i>	<i>0.00323</i>	0.216	0.0684
Esashi (江差)	3.7	41.9	140.1	<i>0.277</i>	<i>0.0191</i>	-0.164	0.167	0.232	0.0501	<i>0.286</i>	<i>0.0157</i>	<i>0.234</i>	<i>0.0483</i>
Hakodate (函館)	35.0	41.8	140.8	<i>0.371</i>	<i>0.00170</i>	-0.154	0.194	<i>0.327</i>	<i>0.00574</i>	<i>0.371</i>	<i>0.00174</i>	<i>0.289</i>	<i>0.0147</i>
Aomori (青森)	2.8	40.8	140.8	<i>0.259</i>	<i>0.0286</i>	-0.172	0.146	<i>0.239</i>	<i>0.0432</i>	<i>0.336</i>	<i>0.00457</i>	<i>0.261</i>	<i>0.0275</i>
Akita (秋田)	6.3	39.7	140.1	<i>0.418</i>	<i>0.000406</i>	-0.109	0.359	<i>0.302</i>	<i>0.0106</i>	<i>0.464</i>	<i>0.0000882</i>	<i>0.299</i>	<i>0.0116</i>
Morioka (盛岡)	155.2	39.7	141.2	<i>0.407</i>	<i>0.000582</i>	-0.131	0.270	<i>0.330</i>	<i>0.005260</i>	<i>0.383</i>	<i>0.00119</i>	<i>0.356</i>	<i>0.00264</i>
Sendai (仙台)	38.9	38.3	140.9	<i>0.430</i>	<i>0.000279</i>	-0.0691	0.559	<i>0.375</i>	<i>0.00152</i>	<i>0.445</i>	<i>0.000171</i>	<i>0.348</i>	<i>0.00330</i>
Yamagata (山形)	152.5	38.3	140.3	<i>0.321</i>	<i>0.00668</i>	-0.157	0.184	<i>0.274</i>	<i>0.0204</i>	<i>0.390</i>	<i>0.000977</i>	<i>0.239</i>	<i>0.0438</i>
Fukushima (福島)	67.4	37.8	140.5	<i>0.381</i>	<i>0.00129</i>	-0.101	0.392	<i>0.372</i>	<i>0.00167</i>	<i>0.384</i>	<i>0.00117</i>	<i>0.256</i>	<i>0.0309</i>
Toyama (富山)	8.6	36.7	137.2	<i>0.452</i>	<i>0.000132</i>	-0.0253	0.830	<i>0.396</i>	<i>0.000829</i>	<i>0.437</i>	<i>0.000224</i>	<i>0.307</i>	<i>0.00953</i>
Nagano (長野)	418.2	36.7	138.2	<i>0.348</i>	<i>0.00331</i>	-0.0391	0.741	<i>0.332</i>	<i>0.00500</i>	<i>0.388</i>	<i>0.00104</i>	<i>0.276</i>	<i>0.0196</i>
Utsunomiya (宇都宮)	119.4	36.5	139.9	<i>0.463</i>	<i>0.0000915</i>	0.0761	0.520	<i>0.441</i>	<i>0.000191</i>	<i>0.387</i>	<i>0.00108</i>	<i>0.289</i>	<i>0.0145</i>
Maebashi (前橋)	112.1	36.4	139.1	<i>0.471</i>	<i>0.0000690</i>	0.0694	0.558	<i>0.404</i>	<i>0.000633</i>	<i>0.394</i>	<i>0.000882</i>	<i>0.345</i>	<i>0.00351</i>
Mito (水戸)	29.0	36.4	140.5	<i>0.472</i>	<i>0.0000659</i>	0.0710	0.549	<i>0.416</i>	<i>0.000441</i>	<i>0.487</i>	<i>0.0000382</i>	<i>0.331</i>	<i>0.00522</i>
Fukui (福井)	8.8	36.1	136.2	<i>0.378</i>	<i>0.00140</i>	-0.1220	0.304	<i>0.323</i>	<i>0.00632</i>	<i>0.411</i>	<i>0.000512</i>	<i>0.295</i>	<i>0.0126</i>
Saitama (さいたま)	8.0	35.9	139.6	<i>0.503</i>	<i>0.0000211</i>	0.103	0.384	<i>0.438</i>	<i>0.000214</i>	<i>0.419</i>	<i>0.000396</i>	<i>0.348</i>	<i>0.00330</i>
Kofu (甲府)	272.8	35.7	138.6	<i>0.449</i>	<i>0.000148</i>	0.0694	0.558	<i>0.389</i>	<i>0.00102</i>	<i>0.357</i>	<i>0.00254</i>	<i>0.294</i>	<i>0.0131</i>
Chiba (千葉)	3.5	35.6	140.1	<i>0.476</i>	<i>0.0000568</i>	0.105	0.373	<i>0.422</i>	<i>0.000363</i>	<i>0.429</i>	<i>0.000285</i>	<i>0.327</i>	<i>0.00574</i>
Tottori (鳥取)	7.1	35.5	134.2	<i>0.342</i>	<i>0.00388</i>	-0.0659	0.578	<i>0.371</i>	<i>0.00173</i>	<i>0.359</i>	<i>0.00242</i>	<i>0.319</i>	<i>0.00698</i>
Matsue (松江)	16.9	35.5	133.1	<i>0.444</i>	<i>0.000175</i>	0.0136	0.908	<i>0.431</i>	<i>0.000273</i>	<i>0.361</i>	<i>0.00231</i>	<i>0.345</i>	<i>0.00357</i>
Yokohama (横浜)	39.1	35.4	139.7	<i>0.491</i>	<i>0.0000337</i>	0.0981	0.407	<i>0.415</i>	<i>0.000460</i>	<i>0.419</i>	<i>0.000405</i>	<i>0.336</i>	<i>0.00451</i>
Gifu (岐阜)	12.7	35.4	136.8	<i>0.397</i>	<i>0.000795</i>	0.00845	0.943	<i>0.381</i>	<i>0.00127</i>	<i>0.344</i>	<i>0.00362</i>	<i>0.315</i>	<i>0.00778</i>
Nagoya (名古屋)	51.1	35.2	137.0	<i>0.412</i>	<i>0.000492</i>	0.0152	0.898	<i>0.381</i>	<i>0.00127</i>	<i>0.325</i>	<i>0.00596</i>	<i>0.285</i>	<i>0.0160</i>
Kyoto (京都)	40.8	35.0	135.7	<i>0.361</i>	<i>0.00231</i>	-0.0405	0.732	<i>0.368</i>	<i>0.00188</i>	<i>0.342</i>	<i>0.00391</i>	<i>0.317</i>	<i>0.00734</i>
Otsu (大津)	86.0	35.0	135.9	<i>0.512</i>	<i>0.0000150</i>	0.0641	0.588	<i>0.425</i>	<i>0.000332</i>	<i>0.390</i>	<i>0.000997</i>	<i>0.376</i>	<i>0.00149</i>
Shizuoka (静岡)	14.1	35.0	138.4	<i>0.443</i>	<i>0.000183</i>	0.0608	0.608	<i>0.399</i>	<i>0.000748</i>	<i>0.367</i>	<i>0.00192</i>	<i>0.375</i>	<i>0.00152</i>
Tsu (津)	2.7	34.7	136.5	<i>0.368</i>	<i>0.00188</i>	0.0169	0.886	<i>0.377</i>	<i>0.00143</i>	<i>0.305</i>	<i>0.00990</i>	<i>0.240</i>	<i>0.0422</i>
Osaka (大阪)	23.0	34.7	135.5	<i>0.233</i>	<i>0.0491</i>	-0.0929	0.432	<i>0.329</i>	<i>0.00550</i>	<i>0.190</i>	<i>0.108</i>	<i>0.195</i>	<i>0.100</i>
Hiroshima (広島)	3.6	34.4	132.5	<i>0.301</i>	<i>0.0109</i>	-0.1200	0.311	<i>0.366</i>	<i>0.00199</i>	<i>0.213</i>	<i>0.0723</i>	<i>0.270</i>	<i>0.0225</i>
Takamatsu (高松)	9.4	34.3	134.1	<i>0.436</i>	<i>0.000229</i>	0.0508	0.668	<i>0.421</i>	<i>0.000379</i>	<i>0.326</i>	<i>0.00583</i>	<i>0.359</i>	<i>0.00242</i>
Wakayama (和歌山)	13.9	34.2	135.2	<i>0.317</i>	<i>0.00734</i>	-0.0219	0.853	<i>0.352</i>	<i>0.00290</i>	<i>0.218</i>	<i>0.0651</i>	<i>0.245</i>	<i>0.0385</i>
Tokushima (徳島)	1.6	34.1	134.6	<i>0.307</i>	<i>0.00956</i>	-0.0810	0.494	<i>0.367</i>	<i>0.00192</i>	<i>0.243</i>	<i>0.0399</i>	<i>0.260</i>	<i>0.0278</i>
Matsuyama (松山)	32.2	33.8	132.8	<i>0.389</i>	<i>0.00102</i>	-0.0458	0.698	<i>0.426</i>	<i>0.000318</i>	<i>0.251</i>	<i>0.0342</i>	<i>0.339</i>	<i>0.00418</i>
Fukuoka (福岡)	2.5	33.6	130.4	<i>0.472</i>	<i>0.0000671</i>	-0.0388	0.743	<i>0.506</i>	<i>0.0000191</i>	<i>0.338</i>	<i>0.00425</i>	<i>0.366</i>	<i>0.00200</i>
Kochi (高知)	0.5	33.6	133.5	<i>0.348</i>	<i>0.00329</i>	0.0219	0.853	<i>0.321</i>	<i>0.00673</i>	<i>0.232</i>	<i>0.0501</i>	<i>0.324</i>	<i>0.00623</i>
Oita (大分)	4.6	33.2	131.6	<i>0.459</i>	<i>0.000105</i>	0.0641	0.588	<i>0.485</i>	<i>0.0000413</i>	<i>0.266</i>	<i>0.0245</i>	<i>0.382</i>	<i>0.00124</i>
Kumamoto (熊本)	37.7	32.8	130.7	<i>0.342</i>	<i>0.00382</i>	-0.0589	0.619	<i>0.387</i>	<i>0.00106</i>	<i>0.196</i>	<i>0.0969</i>	<i>0.274</i>	<i>0.0207</i>
Nagasaki (長崎)	26.9	32.7	129.9	<i>0.309</i>	<i>0.00912</i>	-0.1150	0.331	<i>0.353</i>	<i>0.00282</i>	<i>0.221</i>	<i>0.0615</i>	<i>0.196</i>	<i>0.0969</i>
Naha (那覇)	28.1	26.2	127.7	<i>0.461</i>	<i>0.0000984</i>	0.186	0.116	<i>0.241</i>	<i>0.0418</i>	<i>0.216</i>	<i>0.0680</i>	<i>0.415</i>	<i>0.000447</i>

Red: warning, Blue: cooling

Bold: statistically significant at a significance level of 1% or less, Italic: statistically significant at a significance level of 5% or less

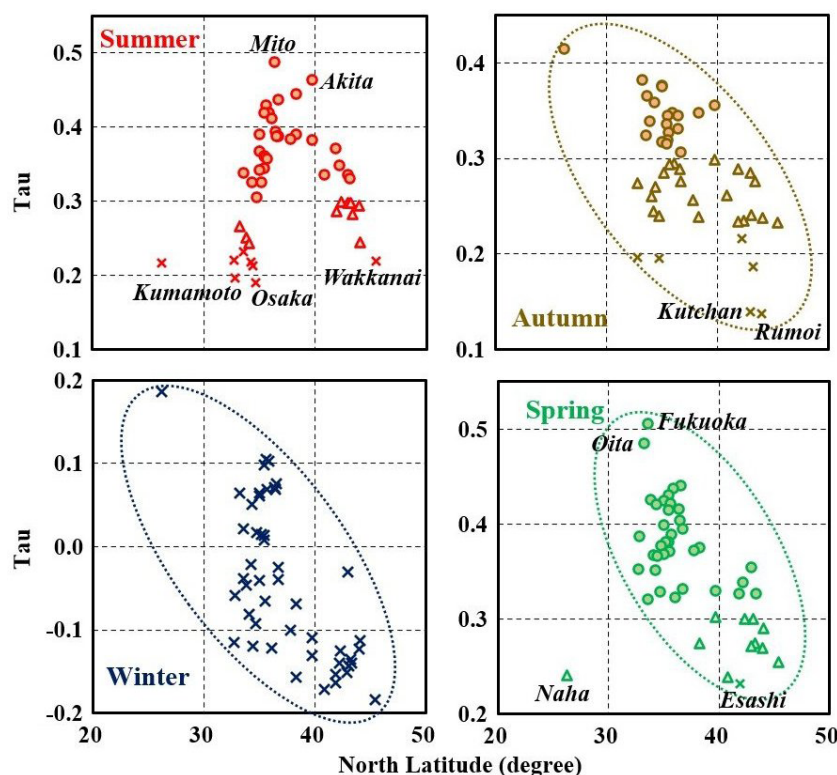


図14 全国における季節平均気温の変化傾向のMann-Kendall検定のtau値と観測地点の緯度との関係

○：有意水準1%以下で統計的に有意，△：有意水準5%以下で統計的に有意，×：統計的に有意性なし

Fig. 14 Relationship between the tau value of the Mann-Kendall test of the seasonal average temperature trends and the latitude of the observation points in Japan

○: statistically significant at a significance level of 1% or less, △: statistically significant at a significance level of 5% or less, ×: not statistically significant

は那覇が最大であり、稚内で最小となり、冬季の平均気温の変化傾向の南北差が明らかである。夏季平均気温については、大阪や熊本などの西日本と北日本で上昇傾向が小さく、本州中部での上昇傾向が顕著である。

6. 近年の日本の冬はなぜ暖かくなっていないのか

1989年から2023年までの期間では、日本アルプス周辺の地域でも全国の主要な地点でも、冬季平均気温に統計的に有意な気温の変化傾向が認められないのはなぜだろうか。この期間の春季、夏季、秋季については、多くの地点で季節平均気温が上昇傾向を示すにもかかわらず、冬季平均気温については、Mann-Kendall検定結果のtau値がマイナスを示し、下降傾向にすらある。1898年から2023年までの日本の冬季平均気温の変動については、図3で示したように、 $1.19^{\circ}\text{C}/100\text{年}$ の割合で上昇している。さらに、1988年以前に比べて1989年以降は全体的に気温が高くなっていることも確かである。しかしながら、1989年から2023年までの35年間では、交互に暖冬と寒冬が観測されるようになり、全体としては、 $-0.28^{\circ}\text{C}/100\text{年}$ の気温の下降傾向にある。

1989年以降でも、日本では時折寒冬になる要因を考える際には、Honda et al., (2009)の研究が参考になる。彼らによれば、初冬の極東における異常な寒冷と晩冬の欧州から極東にかけての帯状の異常な寒冷は、その前の夏から秋にかけての北極の海水面積の減少が関連している。そのシナリオは、夏から秋にかけて北極海の海水面積が減少すると、北極域の気温が上昇し、ジェット気流が蛇行するとともに、シベリア高気圧が発達し極東に寒気が流入しやすくなるということである。Honda et al, (2009)によれば、2005年9月と2007年9月に、北極の海水面積が記録的な最小値を示した後の、2005年12月には日本各地で異常な低温になり (Takano et al., 2008)、2008年1月から2月にかけては、中国南部で異常な低温と大雪となった (気象庁, 2008) ことを例として示している。前述したように、松本 (図6) や菅平 (図9) では、2006年と2008年の冬季は前後の冬季に比べて低温となっている。また、諏訪における2008年の年最低気温は -16.3°C と近年では稀な低温となっている。

1989年から2023年までの期間での菅平の冬季平均気温の最低値は、2018年の -6.4°C である (図9)。なお、菅平と

もに冬季気温が低くなることの多い開田高原でも、この期間での冬季平均気温の最低値は、2018年の -5.0°C である。なぜ、2018年冬季は低温になったのだろうか。これについては、Tachibana et al. (2019)の論考が明解である。彼らによれば、2018年冬季は、ベーリング海と大西洋北極海域で海水面積が異常に少なく、ジェット気流が海水の少ないベーリング海に向かう流れが生じ、結果的にアジアと北米南部に寒気が流れ込んだということである。

このように、地球規模での気温の上昇の結果として北極域の海水面積が小さくなることにより、ジェット気流の蛇行が生じ、シベリア大陸で形成された寒気が、日本を含む極東地域に流れ込むことが頻発するようになる。ジェット気流の蛇行がなくシベリアからの寒気の流入が少ない冬季は暖冬傾向になる。そのために、1989年から2023年までの35年間では、交互に暖冬と寒冬が観測されるようになり、より緯度の高い地域や標高が高い地域では、冬季気温変化傾向のMann-Kendall検定結果のtau値がマイナスの値を示すようになると考えることができる。

7. まとめ

日本の年平均気温の経年変化には、3つのステージがあるが、3つ目のステージである1989年から2023年までの年平均気温と季節平均気温の変動を議論した。

1989年から2023年までの日本における年平均気温は、 $1.35^{\circ}\text{C}/100$ 年の割合で上昇しているが、1989年から2023年の間では、 $2.56^{\circ}\text{C}/100$ 年の上昇率であり、近年の気温上昇が顕著である。

日本の年平均気温の第3ステージに相当する1989年から2023年までの、季節平均気温の変動については、夏季の上昇率が最も高く、次いで、春季、秋季となっている。しかし、冬季の変動は他の季節とは異なり、季節平均気温が $-0.28^{\circ}\text{C}/100$ 年となり、減少傾向である。1989年から2023年までの日本の冬季気温は、年々変動は認められるが上昇傾向にはないことが確認できる。

1989年から2023年までの月平均気温の変化傾向では、最も上昇率が大きいのは3月であり、次いで8月である。4月を除いた3月から9月までは、月平均気温が大きな上昇率を示している。一方で、12月と1月の月平均気温は減少傾向である。1989年から2023年までの冬季平均気温が減少傾向にあることと整合的である。

日本アルプス周辺の気象官署における、1989年から2023年までの季節平均気温の統計解析の結果、冬季については統計的に有意な変化傾向を示さず、ほぼ半数の地点では統計的に有意ではないが減少傾向にある。春季と夏季については、ほぼすべての地点で統計的に有意な上昇傾向を示す。春季と夏季に比べて、秋季の気温上昇傾向は、統計的な有意性が小さくなるが上昇傾向が認められる。諏訪の年最低気温は、日本アルプス周辺の気象官署で唯一統計的に有意に上昇傾向にある。他の地点に比べて諏訪で最近の気温上昇が顕著なのではなく、過去には特異的に低温となる冬が度々あったからであると考えべきである。

研究対象のアメダス観測地点における冬季平均気温については、すべての地点で統計的に有意な変化傾向を示さず、21地点中12地点ではMann-Kendall検定のtau値がマイナスを示し、9地点ではtau値がプラスである。アメダス観測地点では気象官署よりも春から秋にかけての季節平均気温の上昇傾向が緩やかである。気象官署は比較的都市的な環境に設置され、アメダス観測地点は非都市的な環境に設置されていることに起因すると考えられる。アメダス観測地点における、各季節平均気温の変動を示すMann-Kendall検定のtau値と標高の関係は、いずれの季節でも、標高が高くなるに従いTau値が減少する右肩下りの傾向が認められる。

全国の府県庁所在地などの気象観測地点における、1989年から2023年までの季節平均気温の変動を検討すると、冬季平均気温については、有意水準10%以下でも統計的に有意な変化傾向を示す地点は1地点も無い。さらに、全国の約2/3に相当する31地点では、Mann-kendall検定のtau値がマイナスであり、統計的に有意ではないが、冬季平均気温は下降傾向である。特に、より北方の地点では冬季平均気温が減少傾向であり、北海道と東北の全地点と富山・長野までがマイナスのtau値を示す。

北極域の海水面積が小さくなると、ジェット気流の蛇行が生じ、シベリア大陸で形成された寒気が、日本を含む極東地域に流れ込むことが頻発するようになる。ジェット気流の蛇行がなくシベリアからの寒気の流入が少ない冬季は暖冬傾向になる。そのために、1989年から2023年までの35年間では、交互に暖冬と寒冬が観測されるようになり、より緯度の高い地域や標高が高い地域では、冬季気温変化傾向のMann-Kendall検定結果のtau値がマイナスの値を示すようになると考えることができる。

ここまで検討したように、近年35年間での春季と夏季の顕著な気温上昇に比して、冬季には気温の上昇傾向は認められない。さらに、日本アルプス周辺のように標高が高い地域や、北海道・東北地方のように緯度の高い地域では、冬季の気温は上昇していないことが明らかとなった。季節や地域によって、気温の変化傾向が地球規模での温暖化現象と異なる様相にあることを認識すべきである。

謝辞

冬季に寒気をもたらす気象条件について、新潟大学の本田明治教授と三重大学の立花義裕教授にご指導を賜りました。ここに記して感謝いたします。

文献

- Graham, N. (1994): Decadal scale variability in the 1970's and 1980's: Observations and model results. *Climate Dynamics*, **10**, 60-70.
- Honda, M., Inoue, J. and Yamane, S. (2009): Influence of low Arctic sea-ice minima on anomalously cold Eurasian winters. *Geophysical Research Letters*. **36**, L08707, doi:10.1029/2008GL037079.

気象庁（2008）：

<https://www.jma.go.jp/jma/press/0802/01d/world20080201.pdf>（引用：2025年1月31日）

気象庁（2023）：

https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/clc_jpn.html
（引用：2025年1月31日）

気象庁（2024）：

<https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>（引用：2025年1月31日）

Miller, A., Cayan, D., Barnett, T., Graham, N. and Oberhuber, J. (1994): The 1976-77 climate shift of the Pacific Ocean. *Oceanography*, **7**, 21–26,

森洋介・近藤純正（1984）：冷気の堆積・流出を考慮した山地の夜間放射冷却. 天気, **31**, 45–52.

鈴木啓助（2018）：上高地における近年の気候・水循環変動. 雪氷, **80**, 103-113.

鈴木啓助（2024）：中部山岳地域の近年における冬季の気

温変動. 山の科学, **7**, 1-12.

Tachibana, T., Komatsu, K., Alexeev, V., Cai, L. and Ando, Y. (2019): Warm hole in Pacific Arctic sea ice cover forced mid-latitude Northern Hemisphere cooling during winter 2017–18. *Scientific Reports*, **9**:5567, <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41682-4>

Takano, Y., Tachibana, Y. and Iwamoto, K. (2008), Influence of large-scale atmospheric circulation and local sea surface temperature on convective activity over the Sea of Japan in December. *SOLA*, **4**, 113–116.

Watanabe, M. and Nitta, T. (1999) : Decadal changes in the atmospheric circulation and associated surface climate variations in the Northern Hemisphere winter. *Journal of Climate*, **12**, 494-510.

Yasunaka, S. and Hanawa, K. (2002) : Regime shifts found in the Northern Hemisphere SST field. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **80**, 119-135.

Research Article

Seasonal differences in air temperature fluctuations around the Japanese Alps: Winters have not been getting warmer in recent years

SUZUKI Keisuke

The annual mean temperature deviation in Japan from 1898 to 2023 has risen at a rate of 1.35°C/100 years. However, since 1989, the rate of increase has been 2.56°C/100 years, with a remarkable rise in temperature in the recent time period. In this study, we considered the temperature fluctuations from 1989 to 2023. The seasonal mean temperature deviation has the highest rate of increase in the summer, but the fluctuation observed in winter is significantly different from that of the other seasons, with a rate of fluctuation of -0.28°C/100 years and exhibiting a decreasing trend. The monthly mean temperature deviation had the largest rate of increase in March and showed an overall large rate of increase from March to September, with an exception for the month of April. The monthly mean temperature deviations in December and January exhibit a decreasing trend.

The winter mean temperature observed at the meteorological offices around the Japanese Alps region did

not show a statistically significant trend of fluctuations. At approximately half of these locations, there was a decreasing trend which was not statistically significant. Seasonal mean temperatures in spring and summer seasons showed statistically significant increasing trend at almost all locations. The annual minimum temperature observed in Suwa exhibited a statistically significant upward trend. This upward trend is not because the recent temperature rise in Suwa has been more pronounced than in the other locations. We believe that this observed trend at Suwa can be attributed to an increase in winter seasons in the past with particularly low temperature values. The average winter temperatures at the AMeDAS observation points showed no statistically significant trend of fluctuation at any of the points, and the upward trend in the seasonal average temperature from spring to autumn seasons was more gradual than that observed at the meteorological offices.

Key words: meteorological office, AMeDAS, temperature lapse rate, Mann-Kendall test, Omiwatari (cracks that form in the ice on Lake Suwa)