

1933年から2015年までの 蔵王山における月平均気温変化

山形大学理学部地球環境学科 渡 邊 鴻 也

1. はじめに

冬季、山形には北西のシベリアから冷たく乾いた季節風が吹く（図1）。その季節風は日本海上空を渡る際に対馬暖流より多量の水分を供給され、朝日連峰へ衝突して雪雲を形成する。水分の大部分は降雪として取り除かれるが、降雪に伴い雪の核となるべき海塩が消費されてしまい、その水分の一部は過冷却水滴となる。やがて過冷却水滴を含んだ季節風は山形盆地を越えて、蔵王山の斜面を吹き上げられ山頂付近に雪雲を形成する。過冷却水滴は自生するアオモリトドマツに衝突して着氷し、雪雲内で着氷と雪片が一体化する焼結を経て樹氷（Ice Monster）となる。この樹氷の形成には、常緑針葉樹の存在（アオモリトドマツ）、北西から西の適度な強風（10～15m/sec）、多量の過冷却水滴（雲量9）、適度な低温（-10～-15℃）、適度な積雪量（2～3m）といった複数の条件が必要である。

現在、この樹氷は東北地方の一部山岳地帯でしか観測されない特異な自然現象である。しかし、1930年から1950年までの期間には山形県より南に位置する長野県の志賀高原や菅平にも樹氷が存在していたことが明らかとなっている（柳澤，2013）。樹氷の南限は徐々に北上しつつあり、山形蔵王においては分布域の縮小やスリム化などの問題が生じてきている（柳澤，2012）（図2）。その原因として、地球温暖化によるものと説明されている。柳澤（2010）では山形市の12月～3月の各月の平均気温について、どの月においても120年間で約2度前後の変化が認められること、樹氷期間と生成下限はおおむね山形市の気温の変化に伴って変化していることを明らかとしている（図3）。特に分布域が広がった1940年代と狭くなっている2010年とを比較すると約3℃の上昇が見られる。だが、都市部の気温の上昇は、都市化における排熱によるものではないかとの意見があった。

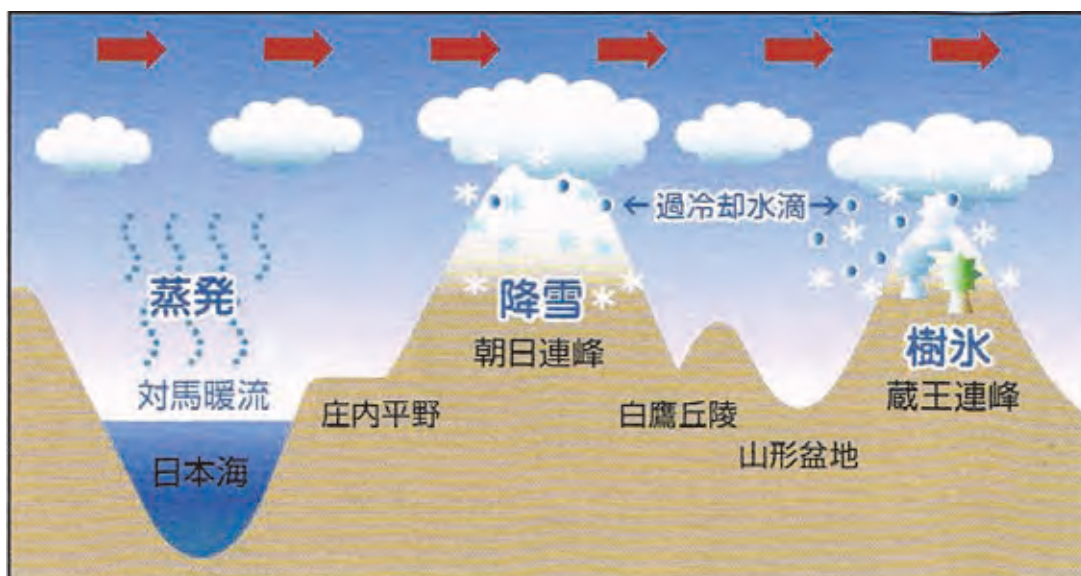


図1. 樹氷の形成過程 (柳澤 2012)より

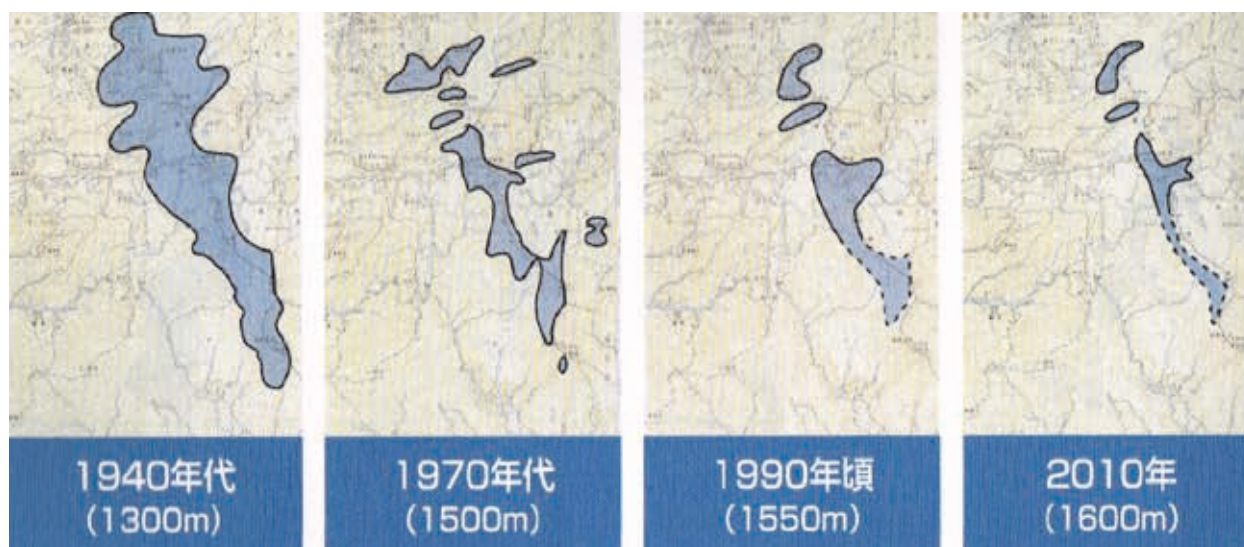


図2. (柳澤, 2012) より

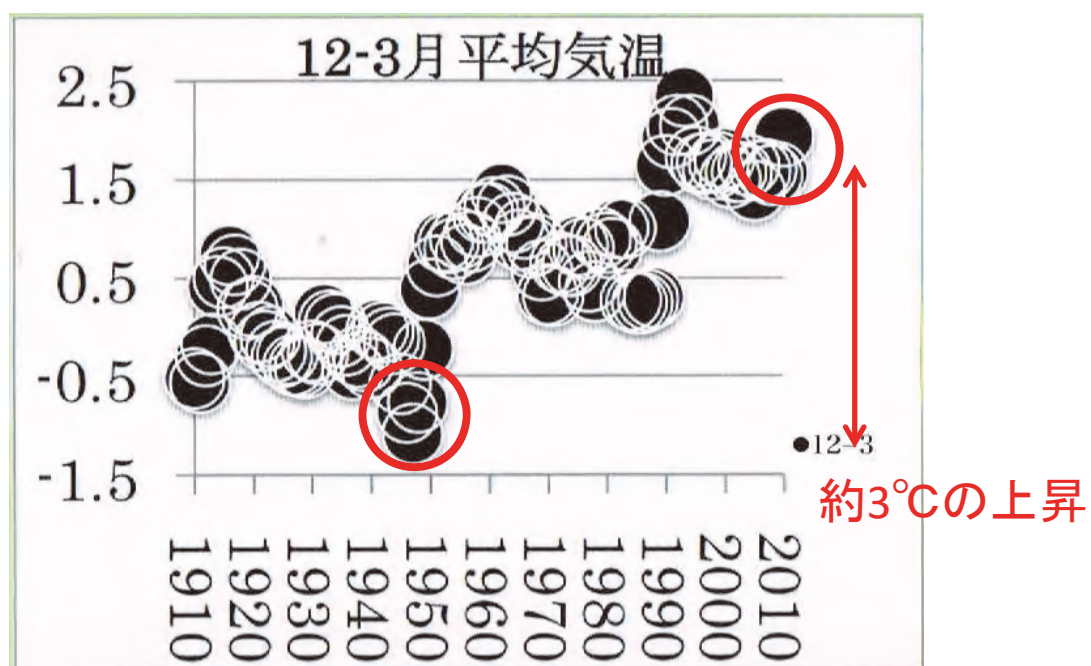


図3. 樹氷のできる12-3月における山形市の平均気温（5年間の移動平均）

2. 目 的

都市化の影響を考慮する必要のない高地での現在および過去の気温の推移から樹氷の生成高度の変化の原因を検討する。

3. 研究手法

山形大学附属図書館において所蔵が見つかった山形県気象年報および山岳気象報告の文献に記載された気象記録を元に(1)現在と(2)過去の気温逓減率を求め、山形市―山頂間で比較を行う(図4)。

気温逓減率とは、高度によって気温が変化する割合をいう。一般的に、標高100m上昇につき乾燥状態下では約0.9℃、湿潤状態下では0.5～0.7℃低下する。また、気象の事典(1988)によると湿潤状態下の気温逓減率は、実測値では約0.5～0.6℃、理論値では0.65℃とされている。この気温逓減率を用いて過去と現在の山形市-山頂間の値を比較することで、都市熱の影響を検討する。

(1) 現 在

研究対象期間は1997年から2015年までの冬季である。観測地点は山形ロープウェイ蔵王山頂駅(標高1661m)で、日本地下水開発株式会社が記録している「山形蔵王における雪氷現象の観測」のデータを用いる。

(2) 過 去

研究対象期間は、山岳気象報告で欠測のなかった1943年から1946年とし、現在の地蔵山山頂に位置していた蔵王山測候所(標高1736m)で観測された記録を用いる(図4)。

また、参考として地蔵山山腹に位置する蔵王温泉(旧高湯)にて観測された「山形気象年報」の記録の比較も行う。研究対象期間は堀田第三小学校(図4)観測の1933年から1936年である。標高は、明確な位置が分かっている堀田第三小学校の880mを基準とする。

比較対象である山形市は山形地方気象台(旧山形県山形測候所)は153mを基準としている。

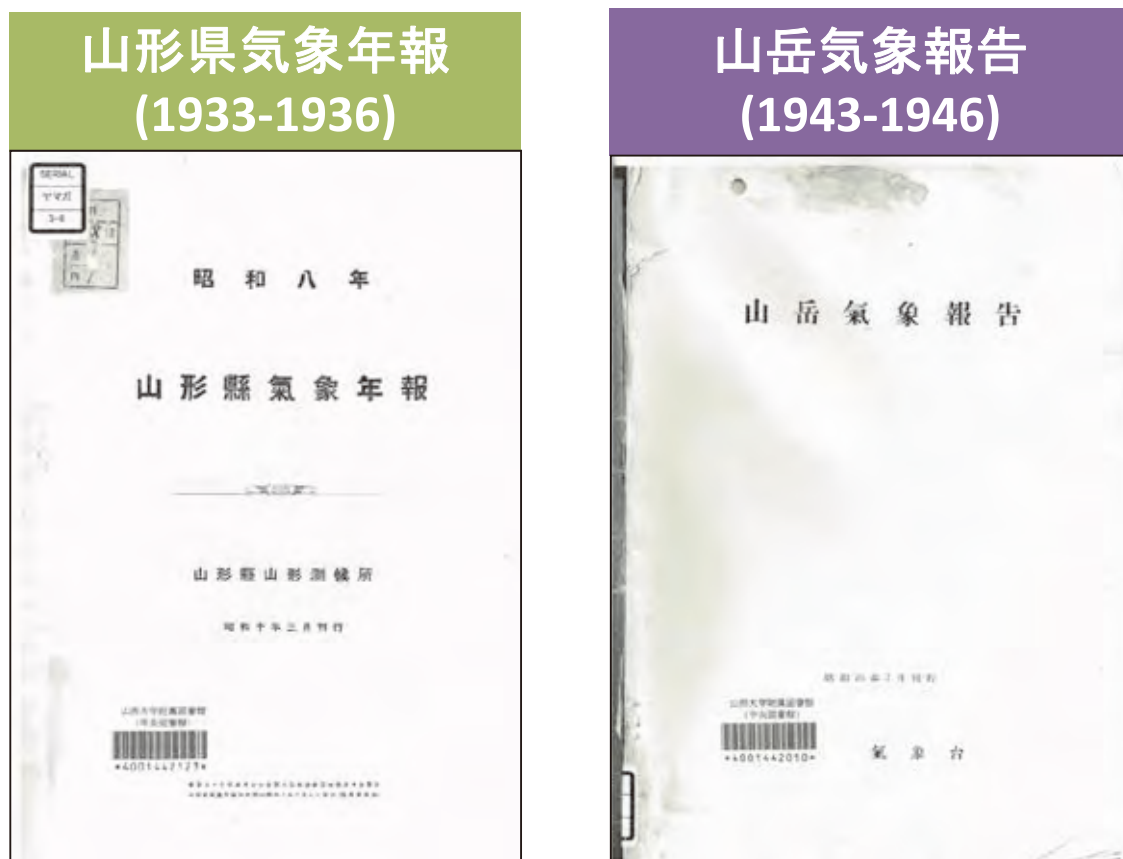


図4. 山形県気象年報、山岳気象報告

4. 結果と考察

4. 1 現在

4. 1. 1 1997年～2015年 冬季 山形 ロープウェイ蔵王山頂駅

山形地方気象台（旧山形県山形測候所）との気温差は平均 $9.19 \pm 0.93^{\circ}\text{C}$ で推移していた（図5）。各気温差と標高差1508mの数値を用いて気温逓減率を求めたところ平均 $0.61 \pm 0.06^{\circ}\text{C}$ と湿潤状態下の範囲内であることが分かった（図5）。もし、山形市の平均気温が排熱の影響で約 3°C 上昇していたと仮定した場合、排熱分を除いた気温差は 6°C となるため気温逓減率は 0.4°C となってしまう。この値は湿潤状態下の範囲外であるため排熱の影響は無いと極めて小さいのではないかと推測できる。また、山形県山形測候所と山形ロープウェイ蔵王山頂駅の気温の相関は0.91と良い相関がみられている（図5）。

4. 2. 過去

4. 2. 1 1943年～1946年 蔵王山測候所（地蔵山山頂）

山形県山形測候所（現山形地方気象台）との気温差は平均して $9.13 \pm 0.58^{\circ}\text{C}$ で推移していた（図6）。各気温差と標高差1583mの数値を用いて気温逓減率を求めたところ平均 $0.59 \pm 0.04^{\circ}\text{C}$ と湿潤状態下であることが分かった（図6）。気温の相関は0.99と良い相関を示している（図6）。

気温逓減率が現在値 $0.61 \pm 0.06^{\circ}\text{C}$ とほとんど差がなく、気温差の推移にも大きな変化が認められない（図6）ことから、1940年代から2015年にかけての約70年間に気温逓減率に変化がなかったことが推測される。

4. 2. 2 1933年～1936年 堀田第三 小学校（高湯）

山形県山形測候所（現山形地方気象台）との気温差は平均して $4.55 \pm 0.98^{\circ}\text{C}$ で推移していた。各気温差と標高差727mで求めた気温逓減率は平均 $0.63 \pm 0.13^{\circ}\text{C}$ と湿潤状態下の範囲内であった（図7）。

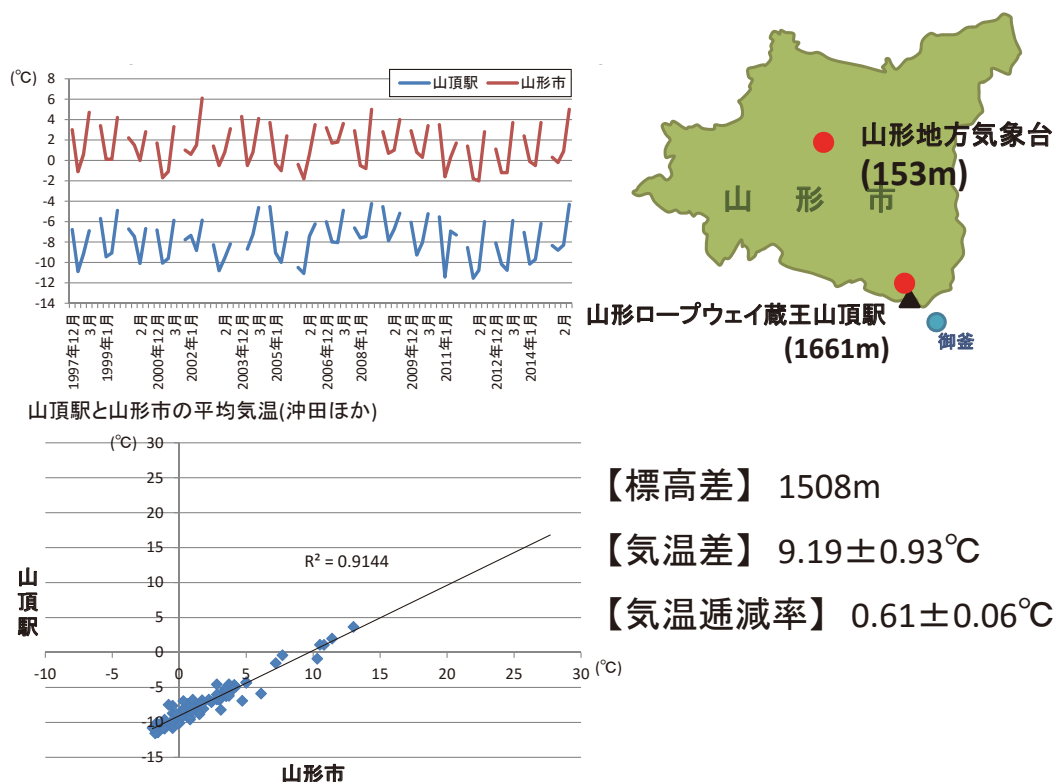
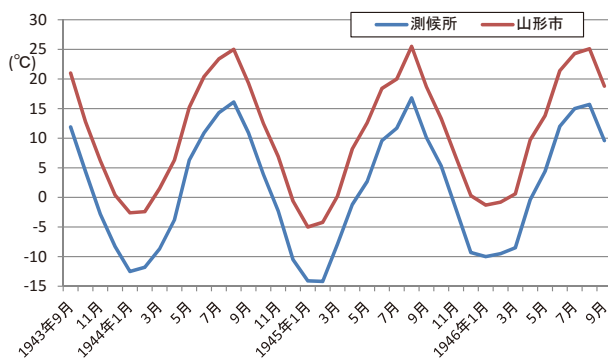
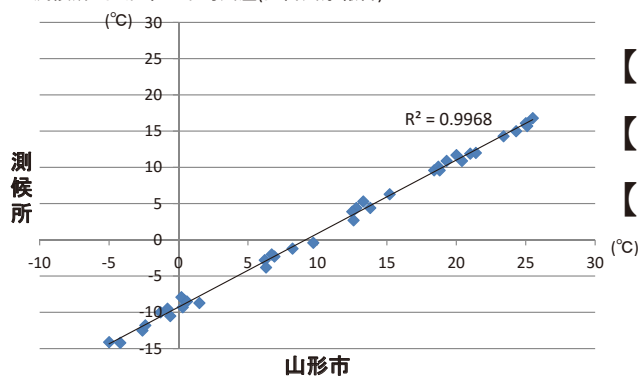


図5. 山頂駅と山形市の気温相関図



測候所と山形市の平均気温(山岳気象報告)



【標高差】 1583m

【気温差】 $9.13 \pm 0.58^{\circ}\text{C}$

【気温逡減率】 $0.59 \pm 0.04^{\circ}\text{C}$

図6. 測候所と山形市の気温相関図

	気温逡減率($^{\circ}\text{C}$)
山頂駅 (1997年～2015年)	0.61 ± 0.06
蔵王山測候所(1943年～1946年)	0.59 ± 0.04
高湯(1933年～1936年)	0.63 ± 0.13

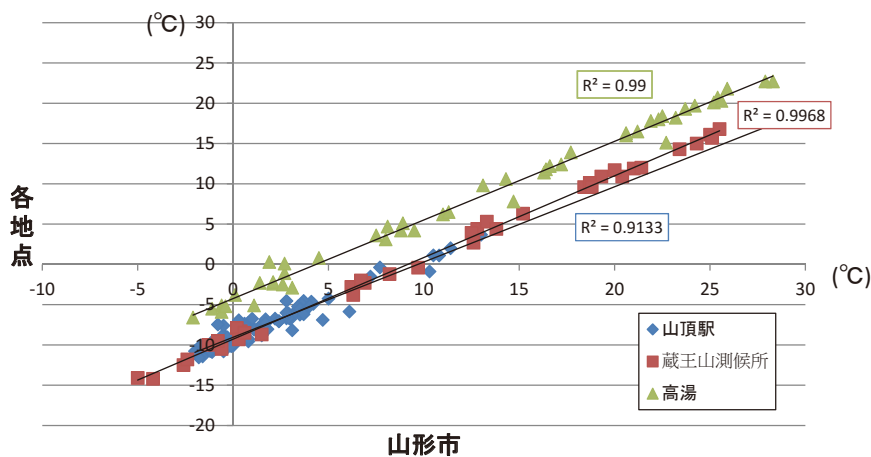


図7. 1940年代、1997-2015年の逡減率は誤差の範囲内で一致
少なくとも70年間の逡減率に変化は認められない

5. 結 論

- (1) 現在（1997～2015年）における気温遞減率は $0.61 \pm 0.06^{\circ}\text{C}$ と湿潤状態下の範囲内である。
- (2) 過去（1943～1946年）における気温遞減率は $0.59 \pm 0.04^{\circ}\text{C}$ と湿潤状態下の範囲内であり、現在の値とほとんど変わらない。
- (3) (1)と(2)より気温上昇において都市化の影響は無いか極めて小さい。
- (4) 樹氷生成高度の上昇は温暖化における気温上昇によるものと判断される。

6. 参考文献

- 沼澤喜一ほか（2011）山形蔵王の樹氷．東北の雪と生活－雪氷研究の回顧と展望－，68－74
- 沖田圭右ほか（2008）山形蔵王における雪氷現象の観測（平成19年度）．東北の雪と生活，23，23－24
- 沖田圭右ほか（2009）山形蔵王における雪氷現象の観測（平成20年度）．東北の雪と生活，24，62－63
- 沖田圭右ほか（2011）山形蔵王における雪氷現象の観測（平成22年度）．東北の雪と生活，26，72－73
- 沖田圭右ほか（2012）山形蔵王における雪氷現象の観測（平成23年度）．東北の雪と生活，27，54－55
- 沖田圭右ほか（2013）山形蔵王における雪氷現象の観測（平成24年度）．東北の雪と生活，28，32－33
- 沖田圭右ほか（2014）山形蔵王における雪氷現象の観測（平成25年度）．29，46－47
- 沖田圭右ほか（2015）山形蔵王における雪氷現象の観測（平成26年度）．30，28－29
- 中央气象台（1951）山岳気象報告．243－247
- 山形県山形測候所（1935）昭和8年 山形県気象年報．19
- 山形県山形測候所（1935）昭和9年 山形県気象年報．28
- 山形県山形測候所（1937）昭和10年 山形県気象年報．29
- 山形県山形測候所（1938）昭和11年 山形県気象年報．11
- 山谷睦ほか（2007）山形蔵王における雪氷現象の観測（平成9年度～平成18年度）．東北の雪と生活，22，21－24
- 柳澤文孝（2010）蔵王の樹氷の変化について．東北の雪と生活．25，71－7
- 柳澤文孝（2012）蔵王の樹氷（ice monster）の分布域の経年変化．環境保全No15．35－46
- 柳澤文孝（2013）樹氷（アイスモンスター）の南限について．環境保全 No16．25－29