山風の流入による夏季の都市気温への影響

浜 田 崇* 一ノ瀬俊明**

Effects of Mountain Winds on Air Temperature in an Urban Area during Summer Nights

Takashi HAMADA* and Toshiaki ICHINOSE**

Abstract

To clarify the effects of mountain winds on urban temperatures, meteorological observations were conducted in the summers of 2008 and 2009 in Nagano City, central Japan. Hamada *et al.* (2006) showed that mountain winds blew along the Susobana River, extending into the center of Nagano City. This study selected Nagano Prefectural Office (NPO), which is near the center of Nagano City as a site to observe mountain winds blowing into the city, while Nagano Local Meteorological Observatory (NLMO) at the periphery of the city was selected as an observation site not to mountain winds. Wind conditions at NPO and NLMO were classified as days with (15 cases) and without (37 cases) mountain winds, respectively. Average air temperature, wind direction and speed, and relative humidity at the two points were compared for each case. As a result, at NPO, average wind speed was about 5 m/s, air temperature dropped, and relative humidity increased on days with mountain winds. On these days, air temperature was reduced by up to 2°C, with an average drop of 0.5°C. The drop in temperature with the mountain winds was negatively correlated ($r = -0.46, p < 0.001$) with wind speed, and the relationship depended on the strength of radiative cooling.

Key words : mountain wind, temperature depression, urban area, heat island, summer

キーワード : 山風, 気温低下, 都市域, ヒートアイランド, 夏季

I. はじめに

近年, ヒートアイランド現象が大きな社会問題となりつつある。地球温暖化問題がクローズアップされるなか, 温度や暑さに対する情報がマスコミなどを通じて飛躍的に増えていることや, 東京などの大都市では夏季の 30°C 以上の延時間数や熱帯夜日数などが年々増加している(環境省, 2001) という事実が背景にあると思われる。ま

た実際, ヒートアイランドによる気温上昇に伴い, 夏季の電力需要の増大や熱中症患者の増加, 都市における生態系の変化など, 社会や自然環境への影響などがではじめている(ヒートアイランド現象による環境影響調査検討委員会・環境情報科学センター, 2005)。

このため, さまざまなヒートアイランド対策が検討されている。大きく分けると地表被覆の対策, 人工排熱の対策, 風と市街地形態による対策

* 長野県環境保全研究所自然環境部

** (独) 国立環境研究所社会環境システム研究領域

* Natural Environment Division, Nagano Environmental Conservation Research Institute, Nagano, 381-0075, Japan

** Social and Environmental Systems Division, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, 305-8506, Japan

の3つに整理することができる(森山, 2004)。このなかの風と市街地形態による対策は、日中の海風、夜間の冷気流や山風などの相対的に冷涼な風が、都市域に流入することで都市の気温を緩和するのを利用しようというものである。そして、この流入する風の流れに沿った「風の道」を土地利用や市街地形態へ計画的に反映させ、都市空間の風通しをよくするというねらいがある。もともとこの「風の道」計画は、ドイツにおいて、冷気流を市内に誘導し都市内にたまった大気汚染物質を吹き飛ばすための政策として位置づけられ実施されてきた(一ノ瀬, 1993)。この風は同時に熱も拡散させるほか、冷気として都市内に移流してくるため、ヒートアイランドを緩和する効果としても期待されている(Weber and Kuttler, 2004)。このような風を利用したヒートアイランド対策は、地域の気候資源を活用した対策として今後さらに注目される可能性はあるが、そのためにはまず、海風や山風の実態把握とあわせて、その風が都市域に流入したときの気温に及ぼす影響を明らかにしておくことが必要となる。

日本では海岸沿いに大都市が立地していることが多く、海風によるヒートアイランドへの影響(例えば, Yoshikado, 1990; Ohashi and Kida, 2002)や、河川による「風の道」の効果を明らかにした研究(例えば, 片山ほか, 1990; 松本ほか, 2009)などの事例は多い。また、冷気流によるヒートアイランドへの影響に関する研究も散見される(竹林ほか, 2001; 竹林・森山, 2002; 福田, 2002)。しかし、山風によるヒートアイランドへの影響を検討したものは、狩野・三上(2003)の青梅市における観測事例のほかはほとんどなく、また山風そのものの実態把握についてもまだ十分研究されているとはいえない状況にある。

そこで、本研究では、山風が都市の気温に及ぼす影響について、夏季の観測事例から明らかにすることを目的とする。

II. 研究地域および方法

1) 研究対象地域の概要

研究対象地域は長野県長野市の市街地(以下、

市街地)とした(図1)。長野市は人口約38万人、長野県の県庁所在都市である。市街地の人口は長野県内でももっとも多く、また長野県庁(以下、県庁)周辺から長野駅にかけては高層建築物や商業施設等が集積している地区となっている。市街地は長野盆地の西縁部の盆地底に立地し、その北西端は長野盆地西方の戸隠山・高妻山を源とする裾花川が長野盆地に出る谷口となっている。裾花川はこの谷口付近よりその流路を南東から南へ曲げ犀川へと合流している。市街地はこの裾花川の谷口から広がるゆるい扇状地上に位置し、地形はほとんど平坦である。市街地中心部付近の標高は約360mである。

市街地では夜間ヒートアイランドが出現しており(榊原ほか, 1998)、その高温の中心部はJR長野駅から県庁付近にいたる市街地の中心部である。ヒートアイランド強度は晴天で風の弱い夜間に強く、夏季には最大で約2.5℃程度である(長野県環境保全研究所, 2009)。また、Hamada *et al.* (2006) および一ノ瀬(2007)によると、裾花川に沿って吹いてくる山風は谷口付近で流下方向と同じ北西の風となり、それが市街地中心部へ向かって吹きこむことが報告されている。この山風も雲量が小さく高気圧に覆われた夜間に出現する(長野県環境保全研究所, 2009)。したがって、長野市市街地はいずれの現象も同時に出現する可能性がある地域といえる。

2) 方法とデータ

本研究では、県庁と長野地方気象台(以下、気象台)の気象データの比較から、山風が市街地へ流入したときの都市気温への影響をみることにする。県庁は裾花川が長野盆地へ流入する谷口近くに位置し、県庁の北西側は低層住宅地で高い建築物がないことから、裾花川からの山風を捉える代表地点として選んだ。また、県庁は先に述べたとおり、ヒートアイランドの中心に近いことから、本研究では都市の代表地点としての意味をもつ。一方、気象台は山風の流入がみられるものの、その風速が小さいことから(後述)、山風の影響を強く受けない地点として選んだ。なお、気象台の周囲の土地利用は緑地や公園が広がり、ヒート

図 1 研究対象地域。市街地は陰影をつけた地域。黒丸は気象観測地点を示している。

Fig. 1 Map of study area. The shaded area indicates a highly built-up area. Solid circles show meteorological measurement points.

アイランドの影響も小さいと考えられる。

解析対象期間は 2008 年および 2009 年の夏季（7 月と 8 月）とした。この期間、県庁（標高 372 m）の屋上（地上高約 35 m）の北西端に三杯式風向風速計（Model 3002；Young 社製）を高さ 5 m のポール先端に設置し、10 分間のスカラー平均風速およびベクトル平均風向を測定した。また、屋上面の高さ 1.5 m の位置には温湿度計（HMP45D；Vaisala 社製）を設置し、10 分ごとに測定を行った。温湿度計のプロープは自然通風シェルター（41003；Young 社製）内に取り付けた。いずれのデータもデータロガー（CR-510；Campbell 社製）を用いて記録した。また、气象台（標高 418 m）の風向風速（測器高さは地上 19.1 m）および気温、相対湿度の 10 分値を使用した。また、特別値も参考にした。データはいずれも気象庁ウェブサイトよりダウンロードした。

III. 結果および考察

1) 山風による気温低下の事例

本研究では、夜間を通して气象台の風速が 0 ～ 2 m/s 程度と小さく、県庁の風向が北北西で气象台より強い風速を観測したとき、山風が出現したと判定した。対象期間中にもっとも山風の風速が強かった日を含む 2008 年 8 月 7 日から 9 日にかけて現れた典型的な山風の日変化を図 2 に示す。8 月 7 日から 9 日にかけては、本州中部は高気圧に覆われ、气象台の観測によると昼夜ともに晴れていた。

風向および風速の時間変化（図 2a, b）をみると、8 月 7 日の日中、県庁および气象台とも北から東よりの風が吹いていたが、19 時 30 分を境に県庁の風向は北北西に急変した。この方向には裾花川の谷が開いており、急激な風向の変化は裾花川からの山風が流入したためであることがわかる。以降、県庁では翌日の 6 時 50 分になるまで

図 2 典型的な山風の日変化の事例 (2008 年 8 月 7～9 日). (a) 風向, (b) 風速, (c) 気温, (d) 相対湿度. 太実線と●は県庁における観測値を示し, 点線と+は気象台におけるデータを示している.

Fig. 2 Cases of typical diurnal variations of mountain winds (during Aug., 7th to 9th, in 2008). (a) Wind direction, (b) Wind speed, (c) Air temperature and (d) Relative humidity. Thick lines and solid circles show observation data at NPO, and dotted lines and plus signs show meteorological data at NLMO.

ほとんど風向が変わらず, 風速は 3～4 m/s 程度を維持していた。一方, 気象台でも県庁における山風流入時刻と同時に西よりの風となり, 翌日の 4 時 40 分まで続いた。ただし, その間における気象台の風速は 1 m/s 前後と県庁にくらべて弱かった。8 月 8 日も前日と同様な風向風速の変化がみられた。県庁および気象台とも午前中は南よりの風, 正午頃から夕方にかけては北から東よりの風で, 風速の変化も類似していた。ところが,

8 日の 19 時 20 分を境に県庁の風向は一転して北北西となり, それとともに風速も急激に強くなった。23 時頃には最大で 7 m/s 近くに達した。9 日の 7 時 10 分には県庁の風向は南西よりの風に急変したところで, 風速は 0 m/s 近くまで減少した。この間における気象台の風向は西で風速は 1～2 m/s だった。

以上のように, 県庁で観測された山風は北北西の強い風が夜間を通して卓越するというのが特徴

である。

一方、気象台における夜間の風向風速の時間変化から、気象台でも裾花川からの山風を観測したものと考えられる。しかし、気象台で観測される山風の風速は県庁とくらべるとかなり小さく、山風の影響は小さいと考えられ、県庁のデータと比較することで山風の効果を検討することができるかと判断した。

また、気温および相対湿度の時間変化（図 2c, d）をみると、山風の流入と同時に県庁における気温は急激に低下した。8 月 7 日の場合は 20 分間で約 2℃、8 月 8 日は 40 分間で約 4℃も低下した。その後の山風が吹いている間、県庁の気温は低下したレベルを保ったまま山風の終了時刻まで推移していた。県庁の気温は 8 月 7 日の場合、気象台の気温とほぼ同じかやや低くなり、8 月 8 日の場合には気象台の気温よりも約 1℃低いままだった。そして、山風終了時には両日とも県庁の気温は急上昇し、気象台の気温を上回った。一方、相対湿度の変化は、山風の流入により県庁の相対湿度は高くなり、山風が終了すると相対湿度は低下した。県庁では、日中、気温が高いため相対湿度は気象台よりも低かったが、低温な山風の流入により相対湿度が高くなり気象台とほとんど同じ値となった。

2) 平均値からみた気温への影響

前節で示した山風による都市気温への影響を一般化するため、山風が吹いた日（山風日）と山風がほとんど吹かなかった日（非山風日）を抽出し、それらの平均値の比較を行った。ここでは典型事例で示したような風速が強く持続時間の長い山風のみを対象とすることとした。実際には夜間を通して山風が持続して吹走するとは限らず、一時的に吹く場合もあるが、このような事例は取り扱わないこととした。

山風日は以下の条件をすべて満たす日とした。20～4 時の気象台における平均風速が 2 m/s 以下、20～4 時の県庁から気象台の値を減じた平均風速差が 2 m/s 以上、20～4 時における県庁の風向が 300～345° の出現頻度が半分以上（特別値で 5 回以上）とした。この結果、対象期

間中に 15 事例が抽出された。一方、非山風日は、20～4 時の県庁から気象台の値を減じた平均風速差が 2 m/s より小さいか、20～4 時における県庁の風向が 300～345° の出現頻度が特別値で 2 回以下のときとし、37 事例が抽出された。

これらの結果を用いて、山風日と非山風日における県庁と気象台の風速、気温、湿度の特別平均値の日変化を図 3 に示した。風速の日変化を比較すると、前節で示した典型例のように、山風日（図 3a）と非山風日（図 3b）とで夜間の県庁における風速が大きく異なっており、山風日には夜間における県庁の平均風速は 5 m/s 程度にまで達していることがわかる。次に気温と相対湿度の日変化を比較すると、山風日には県庁の気温が夜間風速が強まるのとはほぼ同時に低下し気象台の気温よりも低くなり、県庁の風速が弱まり山風が終了するまでこの傾向が続いている。また、相対湿度は気温の変化と逆に、県庁の風速が強まるのとはほぼ同時に相対湿度が増加している。このように、平均値においても、山風の流入による都市の気温低下が示された。

3) 山風の流入による都市気温への影響

山風の流入に伴い県庁の気温が低下することを定量的に示す指標として、20～4 時における県庁と気象台の気温差をもとめ、山風日と非山風日とに分けてヒストグラムで示した（図 4）。ここで気温差がマイナスのときは県庁の気温が気象台より低いことを示している。図をみると、山風日には気温差はほとんどマイナスとなり、最大 -2℃、平均値は -0.5℃であった。これに対して、非山風日の場合は多くがプラスとなり、平均値は 0.1℃であった。ただし、この気温差は気温低下の度合いの指標として便宜的に用いたもので、実際には、山風が流入する前の時点ですでに県庁と気象台の気温差がプラスであることから、山風日の最大気温差は -2℃よりも小さい値になっている可能性もあると考えられる。

また、図 4 から山風日の気温差には 2℃程度の幅がみられた。そこで、県庁と気象台の気温差と県庁の風速の関係を散布図にしてみると（図 5）、山風日には山風の風速が強まるほど気温差が大き

図 3 山風日と非山風日における風速 (a, b), 気温 (c, d), 相対湿度 (e, f) の時別平均値の日変化. 太実線は県庁における観測値, 点線は気象台における観測データを示している.

Fig. 3 Durnal variations of hourly averaged wind speeds (a, b), air temperatures (c, d) and relative humidities (e, f) both on days when mountain winds blew and did not blow. Thick lines show observation data at NPO, and dotted lines show meteorological data at NLMO.

く、すなわち県庁での気温低下がみられた。一方、非山風日でも県庁の風速が大きくなるとわずかながら気温差が広がる傾向にあるものの、気温差はほぼ 0°C 付近に集中していた。近藤 (2000) によれば、谷の冷気流 (本研究の山風と同義) の最大風速は冷気層の強さと落差の積に比例している。冷気層の強さは放射冷却が大きい夜ほど、斜面上の空気が冷却されて大きくなることから、雲量が小さく放射冷却が大きくなるような山風日に

は、より冷却された空気が風速の大きい山風となって吹いてくると考えることができる。その結果として、山風が強いほど、県庁にはより冷却された空気が流入することとなり、気象台との気温差が大きくなる可能性がある。一方で、気温差は相対的であるため、山風が強いときは気象台の気温が相対的に高いという可能性も否定できない。山風は谷のなかの冷たい空気と盆地の暖かい空気との気温差による気圧傾度によって吹くことから

図 4 山風日と非山風日における県庁と気象台の気温差のヒストグラム.

Fig. 4 Histograms of air temperature differences at NPO and NLMO both on days when mountain winds blew and did not blow.

図 5 山風日と非山風日における県庁の風速と県庁と気象台の気温差との関係.

Fig. 5 Relationships between of wind speed at NPO and air temperature differences between at NPO and NLMO both on days when mountain winds blew and did not blow.

(Whiteman, 2000), 盆地における気象台の気温が高いことが谷のなかの気温との気温差を大きくし気圧傾度を高めることにつながる可能性もある。いずれにしても、この点については現時点では判断がつかず、今後の課題である。

IV. おわりに

本研究では、長野市の裾花川から吹き出す山風を対象とし、山風が市街地へ流入したときの都市

気温への影響を 2008 年および 2009 年の夏季（7 月および 8 月）について明らかにした。山風は夜間を通して一定の風向で吹き、風速も平均で 5 m/s 程度と強かった。山風の流入と同時に都市の気温は低下し、相対湿度は上昇した。また、山風が終了すると気温は上昇し、相対湿度は低下した。本研究で定義した山風日において、山風の流入による気温低下量を見積もると平均値で 0.5°C、最大で 2°C となった。これらのことから、

山風の流入により、都市の気温は低下するものと考えられた。また、山風の風速と気温低下量の指標である県庁と気象台の気温差との関係は、山風日には風が強くなるほど気温低下量が大きくなることが示唆された。

今後は本研究で明らかにすることができなかった、山風の流入による気温低下のメカニズムの解明のほか、夏季以外の季節における山風が都市の気温に及ぼす影響を明らかにすることが重要と考える。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、長野県管財課には観測機器の設置にあたりご配慮いただきました。2名の査読者の方には、原稿を丁寧に読んでいただいた的確な助言をいただきました。この場を借りて謝意を表します。また、この研究は平成21年度および22年度における独立行政法人国立環境研究所と長野県環境保全研究所の共同研究「都市の温熱環境マップ作成に関する研究」として実施した成果の一部である。

文 献

- 福田和代 (2002): 福岡平野に流出する夜間冷気流の野外観測. 日本風工学会論文集, **93**, 103-113. [Fukuda, K. (2002): *Journal of Wind Engineering*, **93**, 103-113.]
- Hamada, T., Ichinose, T., Tanaka, H. and Mikami, T. (2006): Effect of mountain wind on urban heat island in Nagano, Japan. *Preprints 6th International Conference on Urban Climate*, 743-746.
- ヒートアイランド現象による環境影響調査検討委員会・環境情報科学センター (2005): 平成16年度ヒートアイランド現象による環境影響に関する調査検討業務報告書.
- 一ノ瀬俊明 (1993): シュトゥットガルトにおける「風の道」—都市計画で都市気候を制御する試み—. 天気, **40**, 691-693. [Ichinose, T. (1993): *Tenki*, **40**, 691-693.]
- 一ノ瀬俊明編 (2007): 山風が都市ヒートアイランドに及ぼす影響に関する研究. 平成15年度～平成17年度科学研究費補助金研究成果報告書.
- 環境省 (2001): 平成12年度ヒートアイランド現象の実態解析と対策のあり方についての報告書.
- 狩野真規・三上岳彦 (2003): 谷口に位置する青梅市周辺におけるヒートアイランド現象と山風の吹走との関係. 天気, **50**, 81-89. [Kanou, M. and Mikami, T. (2003): *Tenki*, **50**, 81-89.]
- 片山忠久・石井昭夫・西田 勝・林 徹夫・堤 純一郎・塩月義隆・北山広樹・高山和宏・大黒雅之 (1990): 海岸都市における河川の暑熱緩和効果に関する調査研究. 日本建築学会計画系論文報告集, **418**, 1-9. [Katayama, T., Ishii, A., Nishida, M., Hayashi, T., Tsutsumi, J., Shiotsuki, Y., Kitayama, H., Takayama, K. and Oguro, M. (1990): *Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering*, **418**, 1-9.]
- 気象庁: 過去の気象データ検索.
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> [Cited 2011/01/14].
- 近藤純正 (2000): 地表面に近い大気科学. 東京大学出版会. [Kondo, J. (2000): *Atmospheric Science near the Ground Surface*. University of Tokyo Press.]
- 松本 太・一ノ瀬俊明・白木洋平・李 龍太 (2009): 都市内河川の大規模復元による「風の道」の効果に関する気候学的研究—韓国ソウル市清溪川を事例として—. 日本生気象学会誌, **46**, 69-80. [Matsumoto, F., Ichinose, T., Shiraki, Y. and Lee, L. (2009): *Japanese Journal of Biometeorology*, **46**, 69-80.]
- 森山正和編 (2004): ヒートアイランドの対策と技術. 学芸出版社. [Moriyama, M., ed. (2004): *Hito Airando No Taisaku To Gijutsu*. Gakugei Shuppansha.]
- 長野県環境保全研究所 (2009): 長野県におけるヒートアイランド現象の実態に関する調査研究報告書. 長野県環境保全研究所研究プロジェクト成果報告, **7**.
- Ohashi, Y. and Kida, H. (2002): Effects of mountains and urban areas on daytime local-circulations in the Osaka and Kyoto regions. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **80**, 539-560.
- 榊原保志・田中 忍・伊藤由香 (1998): 長野市における夜間ヒートアイランド強度に対する風速と接地逆転の強さの関係. 天気, **45**, 119-126. [Sakakibara, Y., Tanaka, S. and Itoh, Y. (1998): *Tenki*, **45**, 119-126.]
- 竹林英樹・森山正和 (2002): 夏季夜間における山麓冷気流の集積・流出過程に関する研究. 日本建築学会計画系論文集, **558**, 57-61. [Takebayashi, H. and Moriyama, M. (2001): *Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering*, **558**, 57-61.]
- 竹林英樹・森山正和・糸川文崇 (2001): 夏季夜間における山麓冷気流の出現頻度と市街地における影響距離. 日本建築学会計画系論文集, **542**, 99-104. [Takebayashi, H., Moriyama, M. and Itokawa, F. (2001): *Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering*, **542**, 99-104.]
- Weber, S. and Kuttler, W. (2004): Cold-air ventilation and the nocturnal boundary layer structure above an urban ballast facet. *Meteorologische Zeitschrift*, **13**, 413-420.
- Whiteman, C.D. (2000): *Mountain Meteorology*. Oxford University Press.
- Yoshikado, H. (1990): Vertical structure of the sea breeze penetrating through a large urban complex. *Journal of Applied Meteorology*, **29**, 878-891.

(2010年8月16日受付, 2011年2月4日受理)