

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25350425

研究課題名(和文) 盆地内大気に侵入する山風に関する研究

研究課題名(英文) A study about Mountainbreeze invading the atmosphere on the city in the basin

研究代表者

榊原 保志 (SAKAKIBARA, Yasushi)

信州大学・学術研究院教育学系・教授

研究者番号：90273060

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は盆地に位置するヒートアイランドの特徴を調べたものである。ヒートアイランドは晴天静夜に明瞭に出現するといわれる。この気象条件下では郊外では放射冷却が発達し、周囲にある山地から山風が吹き下ろす。この風が盆地底に位置する都市の気候にどのような影響を与えるか調べた。都市の位置する盆地底は日没後徐々に風は弱まり、夜間比較的弱い。観測結果として、夜間を通して盆地底では気圧が低下し続け、気圧の高い部分が市街地に張り出すように分布することから、山風は直接市街地には達することはなく上空を吹走ることが分かった。

研究成果の概要(英文)：The heat island occurs on calm fine nights clearly. Radiative cooling develops under this climatic condition in a rural area, and a mountain breeze blows down toward basin cities. Effect of nocturnal mountain breeze (cold drainage) on urban climate is researched in this study. The wind on the basin area gradually weakens after sunset, and the wind speed is relatively weak through night from a few hours after sunset to sunrise. On the other hand, atmospheric pressure on the basin (urban) area increases through the night, and a high pressure area stretched from estuary rural area to the basin (urban) area. The results suggests that the mountain breeze on the basin (urban) area doesn't blow at screen level but continue to blow over the ground.

研究分野：自然地理学

キーワード：都市気候 山風 気圧 長野 冷気流

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 山風利用の気候利用研究の研究動向

ドイツでは夜間の風の道を取り入れた都市計画が行われている。ドイツでは内陸都市が多いので、夜間吹き下ろす山風を積極的に市街地に取り込み、都市で発生した大気汚染やこもった熱を吹き飛ばすというものである。市街地中央には風の道を遮るような建物はさけて、できるだけ、緑地帯や大きな道路を設けるといものである。

日本ではヒートアイランド対策については、これまで関係府省や地方公共団体において対策が講じられてきたところであるが、今後、ヒートアイランド対策を一層適切に推進するために、対策に関する各種の施策を相互に連携させ、体系立てて実施していく必要がある。2002年に閣議決定された「規制改革推進3ヶ年計画」の中で、ヒートアイランド現象の解消対策に関わる大綱の策定について検討し結論を出すことが定められた。2004年に環境省より「ヒートアイランド緩和策大綱」が発表され、人工排熱の低減、地表面被覆の改善、都市形態の改善、ライフスタイルの改善等が提言されている。このうち都市計画に係るものには、地表面被覆の改善、都市形態の改善の二つがあり、前者は市街地に緑地を増やすことであり、緑地や河川などの水面からの風の通り道の確保を指摘している。

従来の「風の道」研究の問題点: 風に関する数多くの測器を設置できないための風の分布(冷気の移動、滞留)を把握しにくい。そして、冷気の流れも、日没後の経過と共に地上よりも高い位置に移動してしまう可能性があるからである。

見通し1: 盆地底の地表面気圧分布を調べれば、冷気がどのように水平的に広がっていくのかわかる。→超音波風速計、GPS高精度気圧計を用いた自動車による移動観測を利用する

見通し2: 盆地底で放射収支を調べると、放射冷却による冷却量がわかり、実際の冷却量(気温低下量)は山風(冷気流)による冷却量との差となり、山風の効果を評価できる。→盆地底で放射収支の継続観測

見通し3: 山頂の気圧 $P_t$ は一般場の気圧と考えられるので、盆地底の気圧 $P_b$ との差 $P_t - P_b$ は山風による冷気が溜まって生じた指標で、蓄積量の時間的変化を評価できる。→高精度気圧計による継続観測

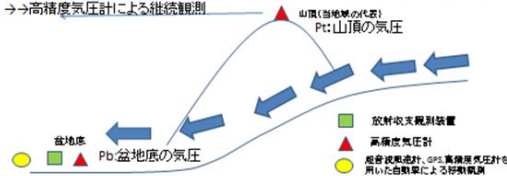


図1 盆地底に侵入する山風のイメージ

### (2) 研究成果を踏まえた着想

これを参考にしてヒートアイランド対策が地方自治体で立てられ、緩和施策マニュアルが作られ、支援助成制度も作られるようになった(たとえば、愛知県, 2006年12月)。しかし、ドイツで指摘されるような山風の利用に関する対策はもちろん実態やメカニズムも十分議論されているとはいえない。大都市が沿岸に位置し、山風が起こるような盆地の都市は相対的に小さいので、軽視されてきたが、日本には内陸に位置する都市も多くあり、今後重視すべきテーマである。

## 2. 研究の目的

### (1) 観測谷口から流出する冷気の動態把握

都市生活者にとって山風の利用を考えると、山風が吹き下ろす斜面の風よりも、山風が扇状地に達した後、扇状地に吹く風が重要になる。これまでの数少ない研究では、ビル屋上に設置した風向風速計の観測結果によると、明瞭に広がることはなく谷筋方向に扇状地を風が吹くとされる。熱や大気汚染物質の移動を考えると発生源は市街地の地表面付近になるので、下層大気の把握は重要である。ところが、人間生活に関係が深い地上付近となると気流の流れについてはよく分かっていない。地上付近に建物群があると都市キャニオン内では気流が複雑に吹き、市街地では気流の流れは単純ではない。熱や大気汚染物質の移動を考えると、道路幅が大きい道路や、大規模な水田や畑の地域からの断片的な風の観測資料から類推することになる。

山地斜面の空気塊は放射冷却によって冷やされ密度が大きくなり、重力流として斜面を下降し、谷に集まり、さらに川沿いに下って谷口から扇状地に吹き出す。盆地底に冷気がたまるようになると、斜面上を吹き下ろす山風(冷気流)は盆地底(扇状地の地表面)よりも高い位置にある等密度面を

移動するようになると報告がある（決定的な結論が出たわけではない）。もし、そうならば地表面付近では風が弱く、建物内で生じた熱や大気汚染物質を吹き飛ばされない。これでは山風は気候緩和として作用しないことになる。

主に谷筋から盆地底付近にある扇状地に流れる冷気がどのように扇状地で流れていくのかその実態を調べ、メカニズムを解明するのが本研究の目的である。

1) 夜間、冷気は地表面に吹くのか、上空を吹くのかを明らかにする

山地斜面から煙トレーサーやライトをつけたノンリフトバルーンを放球し、それをビデオ撮影することで、気流の流れを把握する。

2) 地表面に山風は吹かないとした場合、上空に流れてくる冷気の動態を把握する

多地点で係留気球観測を実施するのは困難なので、高精度の気圧計による移動観測により気圧の分布を調べる。これにより上空に堆積したであろう冷気の動きを推定し、水平面的な冷気の動態を明らかにする。

浜田ほか(2004)の長野市街地に流入する冷気流調査の結果でも、18時以降徐々に風速が強まり、22時~1時にかけて5m/s前後のピークがみられ、その後緩やかに風速が弱まっていく変化をしていたことがわかっている<sup>2)</sup>。

冷気流は流れ続けているものの、上空を流れるようになったのではないかと地表面付近は冷却によって密度が上昇する。これが蓄積していくことで、等密度面も上昇し、山風が上空を流れるようになる。近藤(1983)などが説を唱えている<sup>3)</sup>。

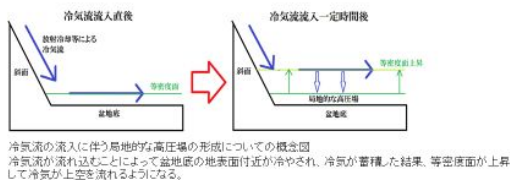


図2 冷気流(山風)の流入に伴う局地的な高圧場形成についての概念図

(2)冷気の流入の時間的な変化を明らかにする。

時系列的な気圧の変化を調べるために、扇状地中央部およびその上空の代替として

隣接する山頂に高精度の気圧計を設置する。上空の気圧の値は一般場の気圧とし、扇状地中央の気圧と上空の気圧の差により盆地内の冷気の流入の時間的な変化を明らかにする。

### 3. 研究の方法

研究対象地域である長野県長野市において移動観測および都市内外の代表的地点11カ所における1時間毎の定点観測を実施した。



図3 定点観測点の配置図

移動観測は自転車によるもので、100m 間隔で従来の観測報告より詳細な気温分布が夜間 118 事例、日中 20 事例、総計 138 事例が得られた。また、従来夜間風向が西寄りの風で安定するという事で山風と判断する方法がとられていたが、本研究では、この条件に、風速の上昇と同時に気温の低下が見られるという中村(2006)の条件を加えて山風日を特定した。その結果、75 夜間を山風日に認定した。

自動車による移動観測も実施した。この観測は、超音波風向風速計に気圧計と GPS を組み合わせた装置による風向・風速・気温・気圧の移動観測システムで、中川ほか(2005)によって提唱された。この装置によって測定された気象データは、十分な精度を持つと中川らによって確かめられている。データは1秒ごとに計測し、PCで集計



する。観測では、観測機器を搭載した車を運転者が運転し、その間にあらかじめ決めておいた観測地点を通過した時刻を、同乗者が記録する。全観測地点を通過した後、データを回収し、そのデータから時刻データを照合、抜き出して解析するという方法をとった。観測は、21時を中心時刻となるように設定し、おおよそ40分かけて観測を行った。



図4 自動車に搭載した移動観測装置

#### 4. 研究成果

観測の結果は以下の通りである。温位勾配と都市内外の気温差について、夜間の時間変化を気圧差とともにプロットした。

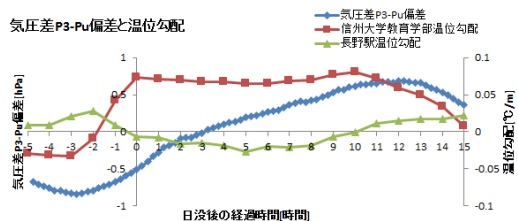


図5 気圧差と温位勾配の日変化

この結果、信州大学教育学部地点の温位勾配と都市との気温差は、夜間に大きくなっていることがわかった。そして、温位勾配と都市と郊外の気温差ともに気圧差よりも位相が早くなっている。

長野駅地点の温位勾配は、夜間に小さくなるため、気圧差とは逆位相になっていた。

日没後の風の強さの変化を見るために、裾花川上流からW1、W2、そして裾花川河口から盆地に出たばかりの地点にあるW3に

おける風速の日変化を以下に示す。信州大学茂菅農場地点のW2と信州大学教育学部地点のW3において、日没後緩やかに風速が増加した後、減少する傾向がある。W3は比較的弱い。この傾向は特にW2で強くなる。

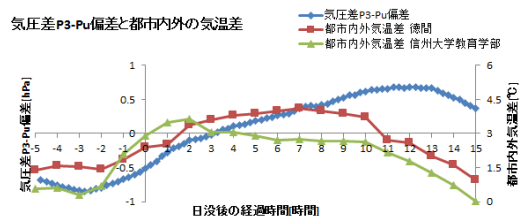


図6 気圧差と都市内外の気温差の日変化

湯の瀬ダム地点のW1は、日没後数時間は風速が弱く、その後風速が上昇していく傾向が。裾花川河口から離れるW4(長野市郊外)とWn(長野地方気象台)では、おおよそ日没前から日の出にかけて風速が減少していく傾向があった。

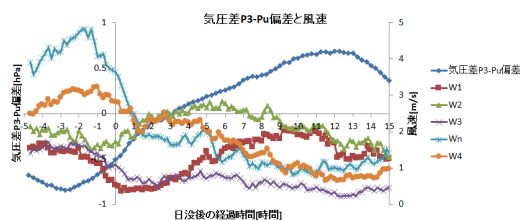


図7 気圧差と風速の日変化



図8 長野駅周辺の気温偏差分布(21:00)

自転車をを用いて長野駅周辺の気温を測定し、21時における気温偏差分布図を描いた。

長野駅周辺では、長野駅を中心として周囲の気温が低くなるヒートアイランド現象がみられる。このヒートアイランド現象は、いずれの日においても見られたが、特に晴

天日は、等温線の間隔が小さく、明瞭なヒートアイランドが認められた。高温域は、長野駅周辺および長野駅北東部に存在する（2014年10月28日21:00、晴天）。この部分を北～北西方向から押すように、低温部が存在している。

自動車の移動観測により市街地付近の気圧分布を検討する。高度と気温の値を用いて海面更正した気圧の偏差を算出し、これを地図にプロットした。この結果、現地気圧とは異なり、北西から南東方向にかけて気圧が低くなる傾向が見られた。晴天日の例として、2014年10月28日21:00の観測例を以下に示す。図から分かるように、北西ほど高く、南東ほど低くなる。そして、北西から南東に等圧線の張り出しが見られた。他の日も同様な傾向が認められた。

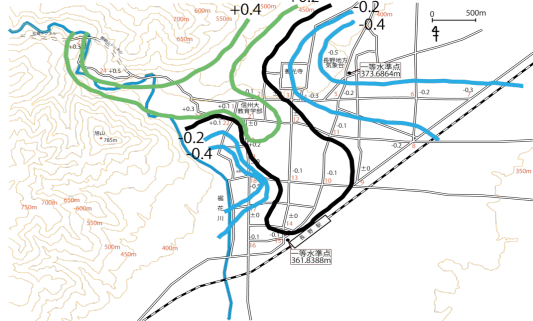


図9 長野駅周辺の海面校正気圧分布

気圧は高度によって異なった値を示す。各地の気圧の値を相互に比較するためには、同一の高度の気圧値に換算しなければならない。これには気圧を測定した地点の直下に海面を想定し、その平均海面上での気圧値に換算する。この方法が海面更正という（気象の事典、1979）。

ただし、次のようなことも付記される。「海面更正にあたっては平均的な大気の状態を仮定しているため、気温の逆転があるとき、盆地の夏のように日射で局地的に気温が高くなったときなどにおいては誤差が出る」。そこで、「平均的な大気の状態を仮定」ではなく、観測値から市街地上空の気圧を更正

する方法で先の方が妥当な結果を示しているのかを検討した。

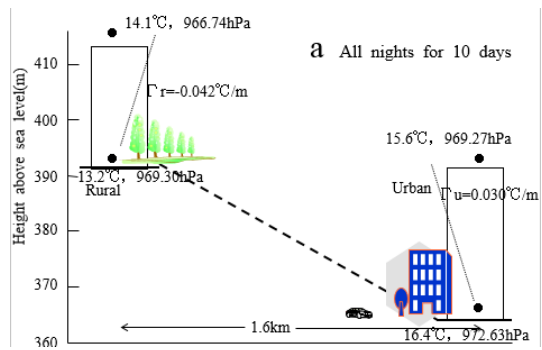


図10 都市と郊外の地上とビル屋上の気温、気圧

気圧の移動観測を行った10事例および快晴であった3事例において、観測した気温の測定値により平均気温を求め、市街地上空の気圧を推定した。下図の地点17は市街地の西側の地点、地点5は市街地の東側の地点、地点13と地点11は市街地の地点である。想定される山風が吹く方向は特に上空では北西から南東方向と考えられる。地点13から地点15、地点11、地点5は山風が吹く方向にちょうど直交するように（南西から北東方向）位置している。上図を見ると分かるように、郊外の裾花川河口付近に位置する信州大学教育学部の標高は市街地駅前付近の高さより20m以上高く、市街地付近の建物屋上の標高とほぼ等しかった。10事例の平均では、市街地屋上気圧は969.27hPaであり、郊外の気圧969.30hPaと比べわずかに低かった。

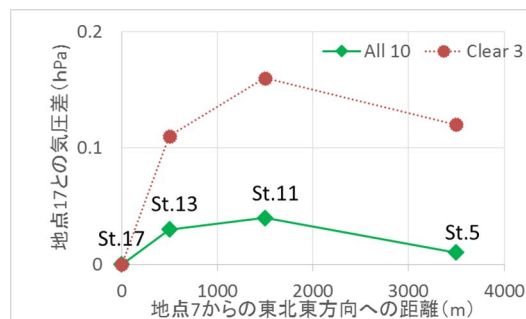


図11 山風進行方向の直交面における気圧差分布

快晴夜間であった3日間の平均値で市街

地屋上面の気圧を推定したところ、郊外の気圧よりも0.1hPa低くなった。

よって、郊外の空気が同標高の市街地上空に向かうことを妨げないように働くことが分かる。上図の分布を見ると、市街地の地点13と地点11の気圧が相対的に郊外の地点17と郊外5よりも高いことが読み取れ市街地上空に冷気の流入が示唆される。

以上のことから、夜間晴天時では郊外は逆転層が発達しているのに対し、市街地上空に冷気が流入し、市街地の大気は不安定の状態になりやすく、山風が市街地に流入した後大気の混合が促進される傾向が起ると考えても矛盾しない。このことは、前述した都市内外の温位勾配の結果とも一致する。

## 5. 主な発表論文等

[学会発表](計6件)

榊原保志・関隆太郎・花井嘉夫、盆地と市内外の夜間気温と気圧の鉛直構造、日本地理学会秋季学術大会、2016.9.30-10.2、仙台

Yasushi SAKAKIBARA, Ryutarō SEKI, Yoshio HANAI, The effect of nocturnal cold drainage on pressure distributions on urban area in an basin, The 33<sup>rd</sup> International Geographical Congress(IGC2016 Beijing), 2016.8.21-25, Beijing China

榊原保志・関隆太郎・花井嘉夫、夜間に長野盆地へと侵入する冷気流の気圧を用いた観測、日本地理学会秋季学術大会、2015.9.18-20、松山

花井嘉夫・榊原保志、晴天日における松本/飯田間の気圧分布の特徴、

日本地理学会春季学術大会、

2015.3.28-30、東京

榊原保志・関隆太郎・花井嘉夫、気圧を用いた長野盆地に流入する冷気の観測、日本地理学会秋季学術大会、2014.9.20-22、富山

芦田康晴・榊原保志、長野駅周辺におけるヒートアイランドの形成に関する研究、日本気象学会中部支部大会、2013.12.7-8、長野

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

榊原 保志(SAKAKIBARA, Yasushi)

信州大学・学術研究院教育学系・教授

研究者番号：90273060