

自然通風式シェルターを用いた気温観測値に 観測点の近傍の障害物が与える影響に関する研究

大和広明¹・栗林正俊¹・浜田 崇¹・榊原保志²

百葉箱を含む自然通風式シェルターを用いた、日中の気温の観測値に観測点近傍の環境が与える影響を定量的に評価することを目的に、旧長野市立更府小学校の校庭において調査した。観測点間の気温差と空間広さには一定の関係が見られ、自然通風式シェルターで観測された気温に観測点近傍の環境が及ぼす影響を考える上で空間広さは有用な指標であると考えられた。観測点が極端に障害物に近くない限り、気温差は概ね1℃以内、平均や中央値では0.5℃以内であった。

キーワード：ヒートアイランド現象、自然通風式シェルター、百葉箱、空間広さ

1. はじめに

ヒートアイランド現象の実態把握ために自然通風式シェルター（百葉箱やラジエーションシールド）を複数設置して気温を観測する研究がある¹⁾。しかし、気温は樹木や建物など近傍（数m～数十m）の障害物によって放射や風が変化することの影響を受けやすい気象要素であり、近くに障害物がない開けた平らな土地で、日当たりと風通しの良い場所において観測する必要がある²⁾。小学校の百葉箱は、これらの基準を満たしていないことが多く³⁾、都市内に設置されたラジエーションシールドも建物の近傍のことが多い。そのため、観測された気温には、自然通風式シェルター近傍の障害物による影響が含まれていると考えられる。

観測点の近傍の障害物の有無が気温に与える影響を定量的に評価する指標として「空間広さ」が提唱されている⁴⁾。空間広さとは、「周囲の障害物と測器との距離」と「障害物の高さ」との比で表され、空間広さが狭いと日中には気温が高くなることが指摘されている⁴⁾。

一方、百葉箱やラジエーションシールドは気象庁の気温観測において標準的に使用されている強制通風式シェルターと比べると、日中に+3.9℃も気温が高めに観測される⁵⁾ことから、自然通風式シェルターによる気温の測定自体に誤差が含まれている可能性はある。しかし、自然通風式シェルターで観測された気温同士を比較する場合には、シェルターによ

る測定誤差は相殺されるため、シェルター近傍の障害物による気温への影響を見積もることが可能となる。

そこで、本研究では、旧長野市立更府小学校の校庭において、自然通風式シェルターによる気温観測を複数地点で行い、観測地点近傍の障害物が気温の観測値に及ぼす影響を定量的に評価することを目的とした。

2. 調査方法

2.1 観測方法

観測地点の近傍の障害物が気温へ与える影響を調べるため、現在は廃校となった小学校の校庭を利用することとした。校庭の中央部付近は周囲に障害物がないため、建物や樹木などの影響がない地点と考えることができる。この地点の気温観測値を基準として、これより障害物に近い観測地点の気温との差を障害物による影響とみなした。また、その影響の程度は放射や風によってどの程度変わるのか調査するために、校庭中央部には後述するウェザーステーションにて、風向風速、日射量も同時に観測し、校庭の代表値とみなした。

校庭の中央部のほかに、4地点において自然通風式シェルター（Onset社製 CO-RS1）を用いたサーミスタ温度センサー（T&D社製 RTR-502）を設置し、気温を10分毎に観測した。温度計のセンサー一部の設置高さは地上から1.5mである。用いた温

1 長野県環境保全研究所 自然環境部 〒381-0075 長野県長野市北郷 2054-120
2 信州大学教育学部 〒380-8544 長野県長野市西長野 6-ロ長野

表1 T&D社製の「おんどとり」と標準温度計の比較観測の結果.

| 標準温度計 | 基準 | ①百葉箱横 | ②校庭 | ③建物間 | ④樹冠下 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1.00 | 1.57 | 1.55 | 1.54 | 1.58 | 1.60 |
| 10.59 | 10.50 | 10.52 | 10.49 | 10.51 | 10.53 |
| 20.40 | 20.30 | 20.29 | 20.25 | 20.30 | 20.30 |
| 30.40 | 30.31 | 30.31 | 30.30 | 30.31 | 30.33 |
| 40.57 | 40.51 | 40.50 | 40.50 | 40.51 | 40.59 |

(注) 恒温水槽の攪拌水中にセンサーを設置し、0、10、20、30、40℃の5つの温度付近でそれぞれ約10分間（おんどとりは1秒ごとの自動記録、標準温度計は30秒ごとに目視観測）計測した値の平均値を記載した。

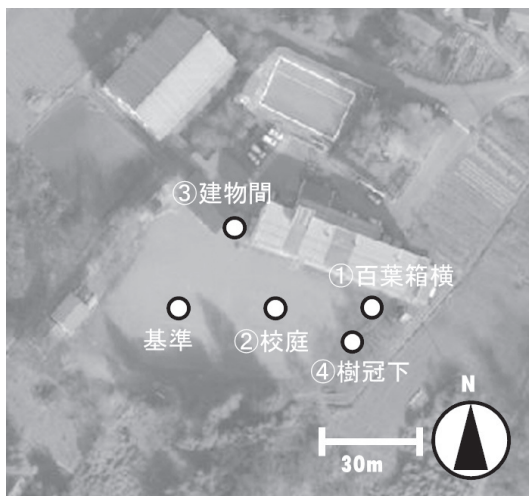


図1 観測点配置図

背景写真は国土地理院の地理院地図より
 度センサーは、恒温槽中の水を攪拌しながら標準温度計との比較観測を行いそれぞれの器差を求めた。10～40℃の温度帯において、標準温度計との示差は0.1℃以内（表1）であったため、センサーは±0.1℃の精度で観測できると考えられる。

2.2 観測期間と観測点

校庭の5つの観測点で、2017年8月29日から10月25日まで観測した結果を使用する。5つの観測点の近傍の環境の特徴は以下の通りである（図1、表2）。

基準：校庭の中央部付近であり、最も障害物から離れている。最も空間広さが広く、校舎からも最も離れている（22m）。ウェザーステーション（Onset社製 HOBO Weather Station）を設置して風向風速、日射量も同時に観測した（地上高2.5m）。

①百葉箱横：校庭の隅で校舎の近くに設置されている百葉箱に似た場所として、百葉箱の1m西の位置で観測を行った。校舎までの距離は6mである。

②校庭：①百葉箱横と基準の中間で、校舎からの距離（15.5m）も中間になる場所で観測を行った。観測点の東側には10m×30mほどのシートが張られている。

③建物間：空間の広さが最も狭く、校舎と建物間に位置し、最も建物から近い場所（0.9m）で観測を行った。

④樹冠下：樹冠による気温への影響を見るために、校舎からの距離が③と同じで、かつ樹冠の下にある場所で観測を行った。観測点直上には落葉樹の枝が伸び、東側から南側にかけては落葉樹が存在するため、午前中を中心に日陰になる。

2.3 指標の算出方法と解析方法

空間広さは、先行研究の定義⁴⁾に倣い、観測点の全周360度を10度ずつ、「周囲の障害物と測器との距離」と「障害物の高さ」との比を測定し、360度平均した。

観測点近傍の環境が気温に与える影響を解析する

表2 観測点の空間広さ及び天空率と全天写真

| | 基準 | ①百葉箱横 | ②校庭 | ③建物間 | ④樹冠下 |
|-----------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| 空間広さ | 5.87 | 3.27 | 5.51 | 2.43 | 4.28 |
| 同上基準との対数差 | - | -0.25 | -0.03 | -0.38 | -0.14 |
| 観測項目 | 気温、風向風速、日射量 | 気温 | 気温 | 気温 | 気温 |
| 全天写真 | | | | | |

ときに、基準との気温差（各観測点-基準；以下、単に気温差と表記）をもとに解析を行った。また、基準で観測された日射量、風向風速（以下、2つを合わせて気象要素等と表記）と気温差の関係についても解析を行った。

3. 結果

3.1 風向の分類

気温は観測点の風上側の地表面の熱収支の影響を受けるので、基準で観測した平均風を元に風向のタイプの分類を行った。日中（10-16時）のベクトル平均風のx, y成分のプロットから（図2）、以下の規準により3つの風向型に分類することが妥当と考えた。

- ・ W型：ベクトル平均風向が $250^{\circ} - 300^{\circ}$
- ・ NNE型：スカラー平均風速が 0.5m/s 以上かつベクトル平均風向 $330^{\circ} - 70^{\circ}$
- ・ CALM型：風向 W を除くスカラー平均風速 0.5m/s 未満

W型は校庭の西側から吹き、「基準」や「②校庭」を通過して「①百葉箱横」や「④樹冠下」方向へ風が吹くタイプと考えた。「③建物間」では風上側に建物があるために風速は弱いと考えられる。NNE型はプールや駐車場を通過して「③建物間」から「基準」に吹き込む風が吹くタイプと考えた。この2地点以外では風上に校舎があるために風は弱いと考えられる。CALM型は全観測地点で風が弱いタイプと考えた。

3.2 風向型別の時刻平均の気温差の日変化

気温差の日変化を見るために、風向別に気温差の時刻平均のグラフを作成した（図3）。気温差の正負は異なるが、いずれの風向タイプでも日中と夜間の変化傾向が異なり、日中は10時ごろから気温差が拡大し13時前後に最も気温差が大きくなったあと、16時にかけて急激に気温差が縮小する。夜間は21時から翌6時の時間帯でほぼ気温差が一定と見なすことができ、日中に比べて気温差が小さい特徴であった。これらの特徴から気温差には放射収支や熱収支の日変化と関係があると考えられ、気温差と観測点近傍の環境や気象要素等との関係を解析する際には、日中と夜間に分けた方が良いと考えられる。本報告では、気温差が大きい日中に着目し、10時から16時までの平均値から気温差を算出した。

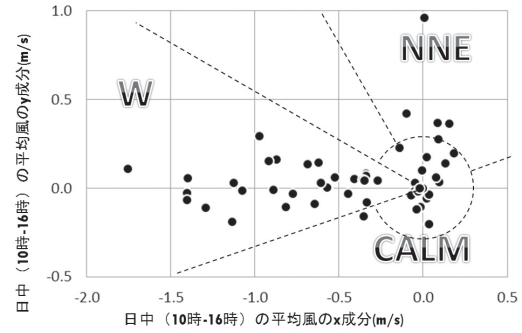


図2 日中のベクトル平均風のx,y成分

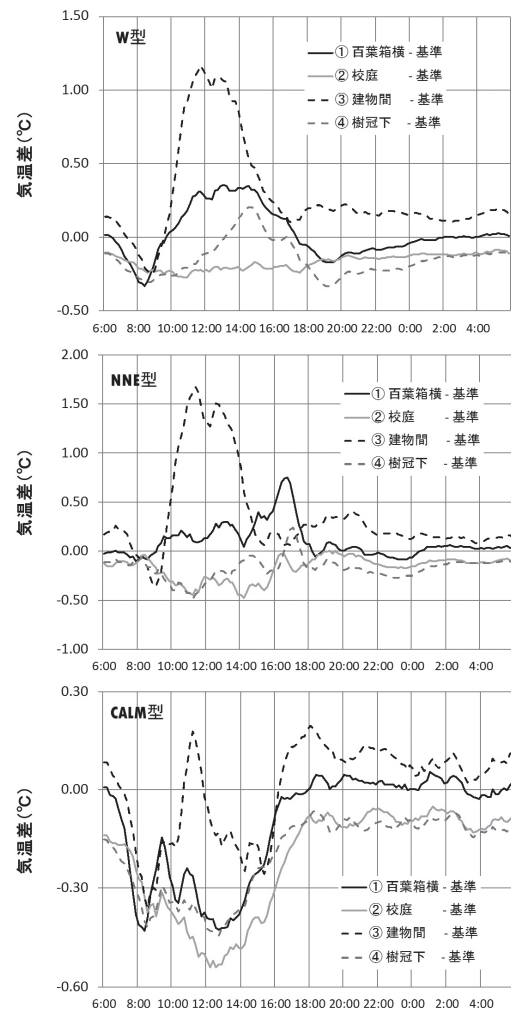


図3 基準との気温差の風向型別の時刻別平均の日変化

3.3 気温差と空間広さとの関係

強制通風シェルターを用いた先行研究⁴⁾によると空間広さの対数の差と気温差には直線関係があり、空間広さが狭いほど日中は高温になる。本報告では自然通風式シェルターを用いているために、気温差

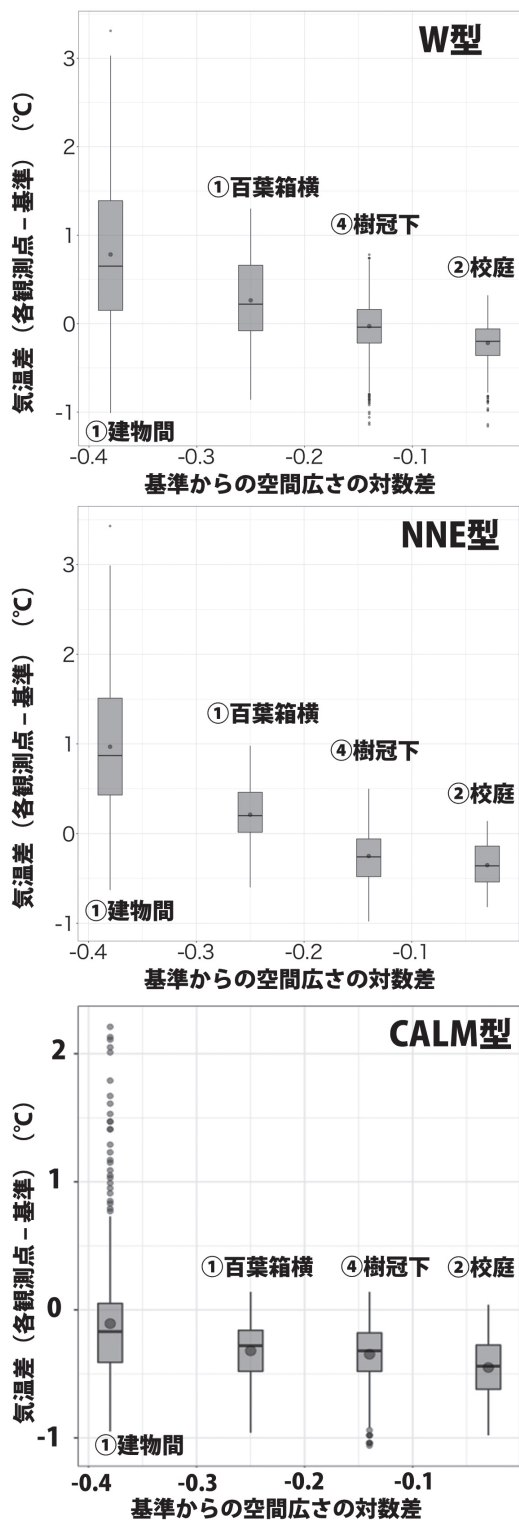


図4 気温差と空間広さの関係

のばらつきが大きくなると考えられる。そこで気温差を箱ひげ図にして、基準からの空間広さの対数差を横軸にとって、空間広さと気温差の関係を解析した(図4)。

W型・NNE型では空間広さが狭いほど気温差が大きくなる傾向があり、気温差のばらつきを考慮してもほぼ直線関係が認められることから先行研究⁴⁾と整合的である。気温差のばらつきも空間広さが狭いほど拡大する傾向が見られた。「基準」に比べて「③建物間」では最大で3°C高温になる時が見られ、「①百葉箱横」でも最大で1°C高温の時が見られた一方で、「基準」よりも空間広さが狭いにもかかわらず「②校庭」や「④樹冠下」では「基準」より気温が低い傾向が見られ、最大で1°C低温の時が見られた。「②校庭」はシートが張られた影響で気温が低めに観測された可能性があり、「④樹冠下」は、午前中は直達日射が樹冠によって遮られるためシェルターに到達しないため、気温が低めに観測されることが原因であると考えられる。

W型とNNE型を比較すると、「③建物間」では気温差の平均やばらつきの程度がほぼ同じであるのに対し、「①百葉箱横」ではW型の方が気温差、ばらつき共にやや大きく、「②校庭」や「④樹冠下」では負の気温差が縮小している。

CALM型はいずれの観測点で「基準」よりも空間広さが狭いにもかかわらず気温が低くなっており、空間広さと気温差の関係も見られなかった。

いずれの風向型でも気温差の中央値や平均値で見ると「③建物間」以外では±0.5°C以内に収まっていることがわかった。

3.4 気温差と気象要素等との関係

図4に示した気温差のばらつきは、放射収支や熱収支が関係していると考えられるため、気温差と日射量、風速との関係について解析した(図5)。

W型では日射量、風速が大きくなるほど、「①百葉箱横」と「③建物間」では正の気温差が大きくなる。「④樹冠下」は日射量との関係は見られないが、風速が大きくなるほど正の気温差が大きくなる。NNE型では「③建物間」では日射量が大きくなるほど正の気温差が大きくなる傾向があり、風速が1m/sより大きいときは気温差が縮小していた。CALM型ではいずれの地点でも日射量が大きくなるほど負の気温差が拡大する傾向が見られた。

4 考察

ここでは空間広さと気温差の関係について先行研究⁴⁾の結果と比較しながら、観測点近傍の障害物が

気温に与える影響について考察を行う。ただし、先行研究⁴⁾の結果は強制通風シェルターを用いた結果であるので、本報告の自然通風式シェルターによる気温の測定自体に誤差が含まれている可能性に留意する必要がある。

気温差と空間広さについては、風向によって関係が異なり、W型とNNE型においては先行研究⁴⁾と整合的な結果が得られ、風が弱いCALM型では空間広さとの関係が認められず、整合的ではない結果であった。

W型では日射量や風速がともに大きいほど気温差が拡大する傾向があり、最大で地点間に約2℃の気温差が生じていた。ただし、日射量と風速と気温差の関係には違いがあり、風速は1m/s前後を境にしてそれ以上になると気温差が大きくなる傾向にあるのに対し、日射量と気温差はほぼ比例関係が見られた。「基準」よりも気温が高い「①百葉箱横」と「③建物間」では、風速が1m/sより弱い時には全ての観測点で風速が弱いと考えられるため、観測点間の

気温差が小さくなるのに対し、1m/sを超えると「基準」では風が強いのにに対し、「①百葉箱横」と「③建物間」では風が「基準」よりも弱いことによって、シェルター内外の通風の良し悪しが異なることで気温差が大きくなると考えられる。また、NNE型の「③建物間」でも同様に風速が1m/sを超えるとシェルター内外の通風が良くなり、気温差が縮小していた。ただ、気温差が拡大する条件として日射量が大きくなる点も併せて考えると、風が弱くシェルター内外の通風が悪いときに強い日射が当たるとシェルター自身の昇温の影響により気温が高くなった結果、「基準」に比べて気温が高くなると考えられる。したがって、自然通風式シェルターによる気温観測値は、通風の良し悪しによって影響を受け、日射量が多いほど影響が拡大する傾向にあると考えられる。「④樹冠下」の気温差をW型とNNE型を比較すると、校庭側から風が吹くW型の方がNNE型より負の気温差が小さくなっており、「①百葉箱横」でもW型の方がNNE型より正の気温差が大きい傾向が

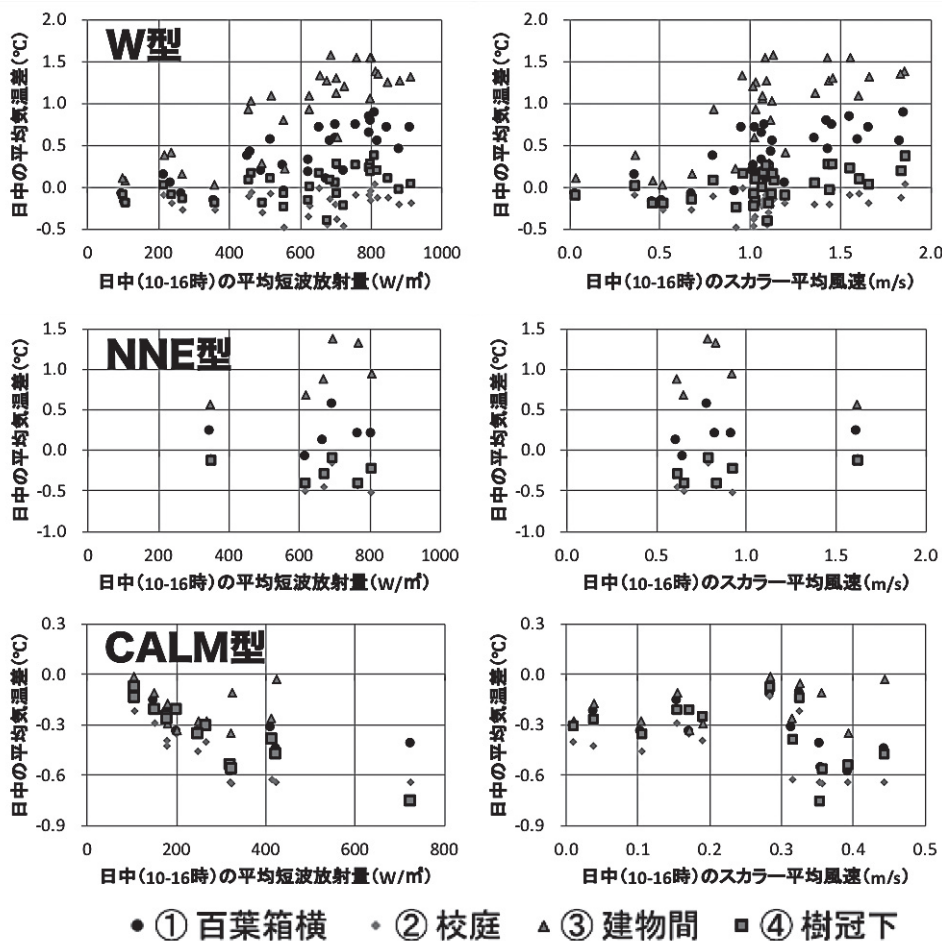


図5 基準との気温差と日射量，風速の関係

認められた。これは、W型の風上側である校庭側の高温空気の移流の影響をうかがわせる結果であり、気温差を考えるとときに移流の影響も考慮することが必要であると言える。

CALM型は1日を除いて、日中の平均の日射量が450W/m²未満であり、曇りや雨であったことから、直達日射より散乱日射が多かったと考えられる。時刻別の日変化でも日の出直後に基準でもっとも気温が高くなっていたことから、直達日射より散乱日射が多い場合には、基準で最も気温が高くなることも考えられる。しかし、この原因については現段階では不明であり、今後の観測も継続することで事例を増やし、さらなる検討を加えたい。

W型・NNE型では概ね空間広さの対数差と気温差には直線関係が見られたことから、日中の観測点周囲の環境が自然通風式シェルターを用いて観測された気温に及ぼす影響を考える上で空間広さは有用であると考えられる。ただし、風が弱いCLAM型では気温差と空間広さに関係が見られないことや気温差の絶対値については日射量や風速との関係があるため、空間広さだけでは規定できない可能性があることが明らかとなった。

「③建物間」以外では、日中の気温差が概ね1℃以内、平均や中央値では0.5℃以内であることから、「③建物間」の建物までの距離が1m以下のような極端に障害物に近くない限り、自然通風式シェルターを用いた気温観測値でも、0.5~1℃以上の気温差については議論できると考えられる。また、夜間に関しても日中より気温差が小さいことから、日中の気温差より精度良く議論ができると考えることができる。そのため、自然通風式シェルターを用いた複数地点の同時気温観測は、0.5~1℃以上の気温差がある場合には有効な手法であると言える。

5 まとめ

百葉箱を含む自然通風式シェルターを用いた、観測点の近傍の環境が日中の気温の観測値に与える影響を旧長野市立更府小学校の校庭において調査した。その結果、以下のことが明らかとなった。

①観測点間の気温差と空間広さには一定の関係が見られ、自然通風式シェルターで観測された気温に観測点近傍の環境が及ぼす効果を考える上で空間広さは有用な指標であると考えられた。

②気温差には自然通風式シェルターの観測手法に伴う誤差も含まれており、風速や日射量が大きくなるほど誤差が拡大する傾向にあった。

③気温差には上記の観測手法に伴う誤差が含まれているものの、極端に障害物に近くない限り、気温差が概ね1℃以内、平均や中央値では0.5℃以内である。

文献

- 1) 三上岳彦・大和広明・広域 METROS 研究会 (2011): 広域 METROS による首都圏高密度気温観測とその都市気候学意義. 地学雑誌 120: 317-324
- 2) 気象庁 気象観測の手引き: http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kansoku_guide/tebiki.pdf
- 3) 浜田崇・田中博春・栗林正俊・大和広明 (2017): 長野市における小学校百葉箱の種類と設置環境. 長野県環境保全研究所研究報告 13: 61-65.
- 4) 和田範雄・泉 岳樹・松山洋・近藤純正 (2016): 観測地点の「空間の広さ」と「平均気温」の関係—4 重構造放射よけ通風筒を用いた高精度観測—. 天気 62: 13-22.
- 5) 気象測器検定試験センター (2014) 気温観測用通風筒の特性調査. 測候時報 80: 15-32.

A study on the influence of the environment near the observation station on the air temperature observation value using natural ventilated shelter

Hiroaki YAMATO¹, Masatoshi KURIBAYASHI¹, Takashi HAMADA¹ and Yasushi SAKAKIBARA²

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

2 Faculty of Education, Shinshu University, 6-ro Nishi-Nagano, Nagano, 380-8544, Japan