

報 告

露場周囲の低木植栽が気温の測定に及ぼす 影響に関する風洞実験の報告

気象測器検定試験センター *

気象研究所環境・応用気象研究部 **

要 旨

地域気象観測所における気温観測の信頼性を高めるため、観測所の露場周囲に植栽された低木が気温の測定に及ぼす影響について、気象研究所の大型風洞装置を用いた模型実験を実施した。実験の結果から、風上側の地表面近くを通過した気流が、植栽を乗り越える際に、温度計感部の高さに上昇することが明らかになった。日射が地表面を暖めている場合は、気温とくに最高気温の測定値が過大評価となる可能性がある。

1. はじめに

地球温暖化問題への社会的関心が高まるなか、防災目的で整備された地域気象観測所についても、気温観測の高精度化が求められるようになってきた。しかし近年は、アスファルトで舗装された道路や駐車場など、日射を効率的に吸収して熱源となる場所から、十分な距離を確保できない観測所が増加している。熱源から露場に向けて風が吹く場合には、熱源で生じた暖気が観測所の露場に流入し、気温観測に影響を及ぼすことが懸念される。

地表面の熱源で生じた暖気が露場に流入するのを防ぐには、周囲に高さ数十 cm 程度の低木を植栽することが提案されており（気象庁，2002），実際に少くない地域気象観測所で植栽が実施されてきた。暖気が植栽を迂回するのなら，提案にあるように露場への流入を防ぐことができる。しかし暖気が植栽を迂回せず乗り越えたとしたら，

暖気が温度計感部の高さに上昇し，気温とくに最高気温の測定値が過大評価となる可能性がある。

こうした低木植栽の影響について系統的に調査した例は，現在に至るまで見当たらない。植栽のように通気性を持つ遮蔽物が存在する場合，流れ場の計算は現在も信頼度が高くないのである。植栽の影響を調べるには，現地観測あるいは風洞実験が必要である。

本稿は，露場周囲の低木植栽が気温の測定に及ぼす影響について，気象研究所の大型風洞装置を用いて実施した調査の報告である。風洞内に一様な草地に囲まれた露場を縮尺 1/10 で再現し，植栽の模型が有る場合と無い場合における流れ場の特性を，可視化実験とトレーサガスの拡散実験によって調査した。得られた結果から植栽の有無が地表面付近の暖気の流入ひいては気温の測定に及ぼす影響について検討した。

* 細道 晶子・河野 沙恵子・梅原 賢之

** 小野木 茂・萩野谷 成徳・毛利 英明

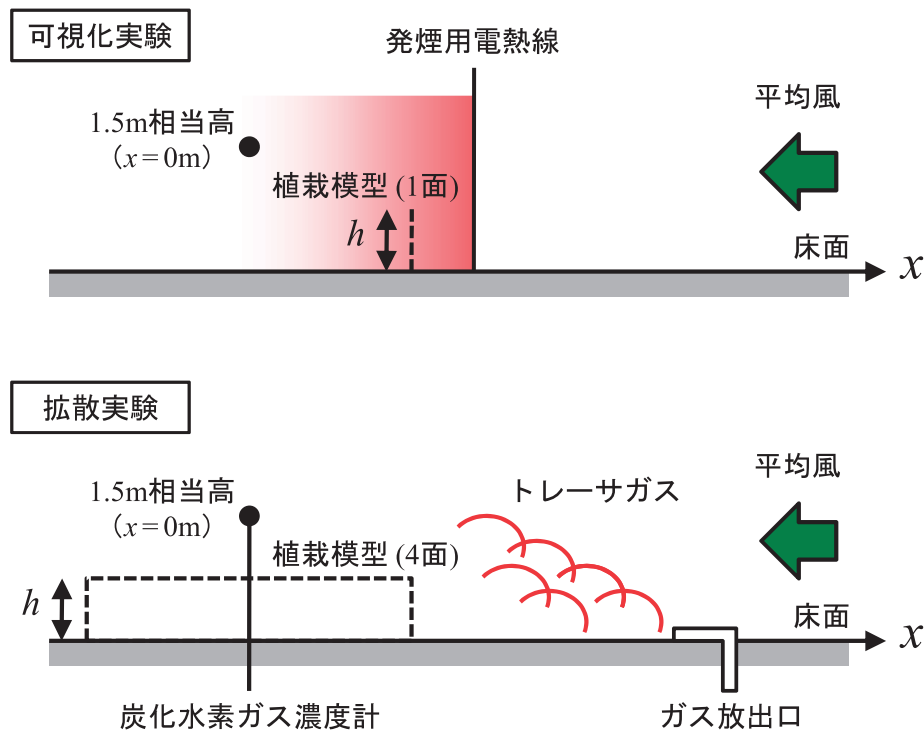
（平成 28 年 11 月 30 日発行）

2. 風洞実験

調査は気象研究所の大型風洞装置を用いて行った。概要を第1図に示す。風洞測定部への流入風速が 3m/s との条件で、露場のような草地における接地境界層を縮尺 $1/10$ で再現するように、風洞の床面に粗度を設置した。この場合のレイノルズ数は実際の露場において風速が 0.3m/s である場合の値に等しいが、より大きな風速でも流れ場

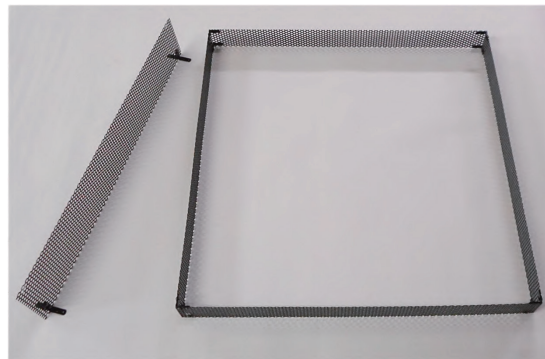
の構造は基本的に同じである。露場の面積は地域気象観測所の標準である $5.5\text{m} \times 5.5\text{m}$ 相当とし、中央に温度計が設置されていると想定した。露場の境界に高さ $h = 0.5\text{m}$ あるいは 1.0m に相当する金網製の植栽模型を風上側の1面あるいは全4面に配置した（第2図）。金網の幾何学的遮蔽率は 50% であった。

簡単のため温度分布が一様な中立状態で実験を



第1図 可視化実験と拡散実験の概念図

可視化実験では植栽が風上側の1面にある場合が対象。拡散実験では植栽が風上側の1面にある場合と全4面にある場合が対象。



第2図 実験で使用した金網製の植栽模型

面積 $5.5\text{m} \times 5.5\text{m}$ の露場の風上側1面あるいは全4面にある高さ $h = 0.5\text{m}$ あるいは 1.0m の植栽を縮尺 $1/10$ で再現。遮蔽率は 50% 。

行った．実際の暖気は浮力を有しているが，十分な強さの風によって暖気が露場に流入する場合を想定しており，とくに植栽がある場合は鉛直方向にも強い乱流が生ずることから，浮力の効果を見視したのである．

可視化実験では，植栽模型の風上側で白煙を発生させ，植栽が風上側に1面ある場合について，植栽を乗り越える気流を可視化して撮影した．また拡散実験では，床面の定位置から暖気に相当するトレーサガスを放出し，風下側の様々な距離 x における温度計感部の高さ1.5mに相当する位置で，平均ガス濃度 ρ を測定した．以上の測定は全て風洞の中心軸に沿った鉛直面において行った．

2.1 流れ場設定の詳細

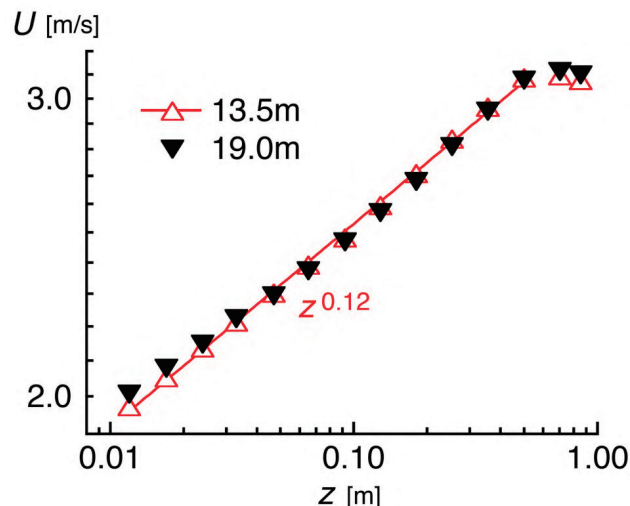
気象研究所の大型風洞装置は測定部が幅3m×高さ2m×長さ18mで，風上側に幅3m×高さ2m×長さ2mの区間が接続している(気象研究所，1980)．この区間の風上端に，幅方向50mm×高さ方向200mm×長さ方向50mmの角柱を中心軸の間隔300mmで2列並べ，流れ場を生成するための粗度とした(堀・川島，2007，第4.2図)．

風洞測定部への流入風速を3m/sに設定し，粗度列から風下に13.5mと19.0mの位置で，平均

風速をレーザドップラー流速計で測定した．結果を第3図に示す．平均風速の鉛直分布は13.5mと19.0mで良く一致し，床面から高さ0.5mまでの範囲で，草地における接地境界層に期待される指数0.12の冪則で表現できる(日本建築学会，2015)．平均風速に対する風速変動の強度は最大で10%と実際よりも若干小さいが，露場における接地境界層を良く再現できたことが解る．なお流入風速が1m/s及び5m/sである場合にも平均風速の鉛直分布を測定し，指数0.14及び0.11の冪則で表現できることを確認している．

2.2 可視化実験の詳細

可視化実験にはスモークワイヤ法を用いた．粗度列から風下に16.0mの位置に電熱線を鉛直に張り，グリセリンを上端から滴下した．電熱線に通電して加熱すると白煙が発生し，流れ場を可視化することが出来る．電熱線の風下側0.25mの位置に植栽模型を設置し，側面から照明して反対側から撮影した．光源の強さなどに関する本実験の条件においては露光時間1/250sが必要であり，鮮明な画像を得るため測定部への流入風速は3m/sでなく1m/sに設定した．



第3図 平均風速の鉛直分布：(△) 粗度列の風下側13.5m，(▼) 風下側19.0m
横軸は床面からの高さ z ．縦軸は平均風速 U ．両軸ともに対数目盛．風下側13.5mにおける測定値の冪則近似 $U \propto z^{0.12}$ を直線で表示．

2.3 拡散実験の詳細

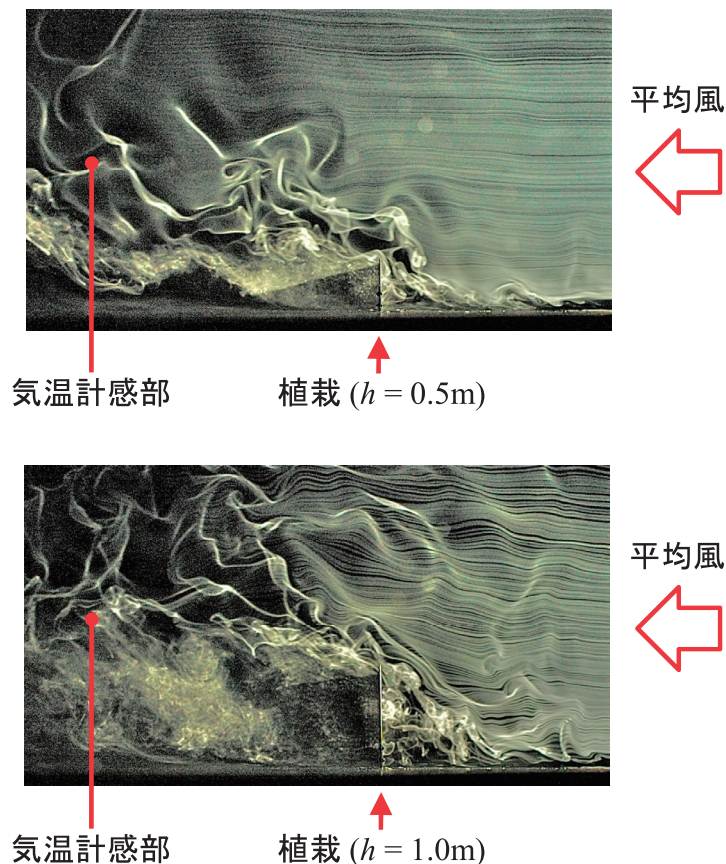
拡散実験ではトレーサガスとして濃度 100% のプロパンを用いた。粗度列から風下側に 13.5m の位置で、床面に設置した外径 2.3mm・内径 1.5mm の金属管からガスを放出した。ガスの放出速度は事前に評価した高さ 1.2mm での風速に設定した。

放出源から風下側に様々な水平距離を設定して、温度計感部の高さ 1.5m に相当する位置で空気を吸引し、平均ガス濃度を炭化水素ガス濃度計で測定した。測定時間は各点で 1000s 以上である。気象研究所の大型風洞装置は屋内回流型であるため、実験中はガスのバックグラウンド濃度が上昇する。そこで放出源から 2.0m 風上側でも空気を吸引して平均ガス濃度を測定し、温度計感部の位置における平均濃度との差を、拡散したガスの平均濃度として調べた。なお風洞内での測定においては、側壁の影響を受けるため、ガス放出源から十分に遠方での濃度は、実際の屋外の場合より減少しにくい。

3. 実験結果と議論

可視化実験によって得られた画像を第 4 図に示す。画像の右側つまり風上側から照明されているため、画像中央の植栽モデルの左側つまり風下側に影が出来ている。植栽を通過する流れは見えるが、植栽を迂回する流れは見当たらず、植栽を乗り越える流れが卓越している。実験中の観察においても植栽を越える流れがほとんどであり、風上側の低い場所及び風下側の高い場所に強い乱流が形成され、風上側で地表面付近に有った気塊が温度計感部の高度まで上昇していると考えられる。

拡散実験の結果を第 5 図に示す。横軸は温度計感部の位置から暖気に相当するガスを放出した位置までの水平距離 x である。縦軸は温度計感部の位置におけるガス濃度 ρ で、乱流拡散におけるトレーサガスは間欠的に測定位置を通過するから (Monin and Yaglom, 1971), 暖気が温度計感部を通過する頻度の指標とみなすことができる。植栽



第 4 図 高さ $h = 0.5\text{m}$ あるいは 1.0m の植栽を乗り越える気流に関する可視化実験の結果。
横軸は平均風方向で右側が風上側、縦軸は鉛直方向。

が有る場合に暖気が温度計を通過する頻度(白色・緑色)は植栽が無い場合の頻度(赤色)より大きい。とくに距離が $x \leq 10\text{m}$ に相当する場合は、植栽が無い場合(赤色)はガスがほとんど検出されていないのに対し、植栽が有る場合(白色・緑色)はガスが検出されていることから、植栽が無ければ温度計感部の下側を通過する筈の暖気が、植栽が有ると感部の高さに上昇することが解る。こうした傾向は植栽の高さが $h = 1.0\text{m}$ に相当する場合において顕著であり、植栽が4面有る場合の頻度(緑色)が風上側に1面だけ有る場合の頻度(白色)をほとんどの場合で上回っている。

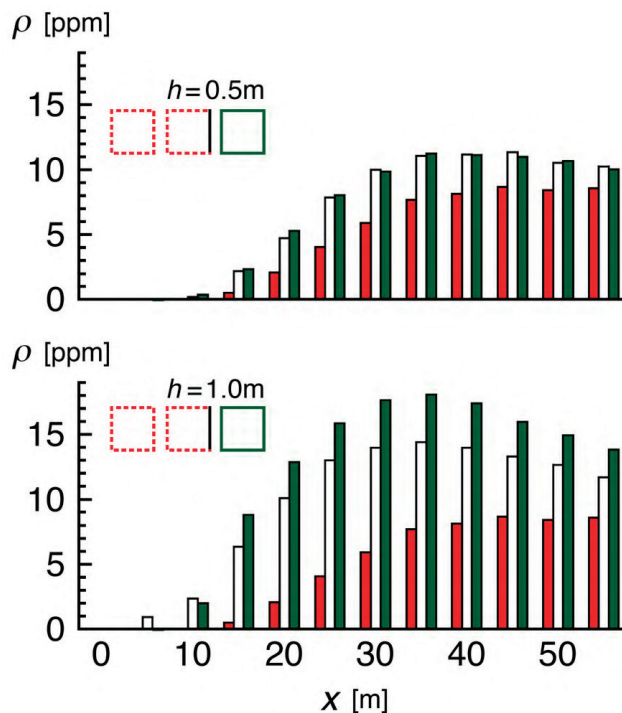
以上の結果から、露場の周囲に低木が植栽されている場合、植栽を乗り越える流れが形成され、日射が地表面を暖めている場合には、地表面付近から生じた暖気が温度計感部を通過する頻度が増加して、気温とくに最高気温の測定値が高くなる可能性があることが解る。逆に夜間で地表面が冷

えている場合には、気温とくに最低気温の測定値が低くなる可能性がある。

4. まとめ

地域気象観測所において露場の周囲に植栽された低木は、道路や駐車場からの暖気を迂回させることで、暖気が露場内へ流入するのを防ぐための措置であった。しかし本稿で報告したように、植栽を乗り越える流れが形成されるため、地表面付近の暖気が温度計感部の高さに上昇し、気温とくに最高気温の測定値が過大評価となる可能性が高まる。植生の効果を評価するなどの検討は必要であるが、少なくとも暖気の流入を防ぐ措置としての低木植栽は、程度の差は有るものの、逆効果となる場合が多いと思われる。

道路や駐車場から十分な距離を確保できない観測所における気温観測のあり方に関しては、今後とも検討すべき課題である。世界気象機関では周



第5図 地表面から生じた暖気に高さ $h = 0.5\text{m}$ あるいは 1.0m の植栽が及ぼす影響に関する拡散実験の結果：(■) 植栽が無い場合、(□) 植栽が風上側1面に有る場合、(■) 植栽が4面に有る場合

横軸は実際の露場における値に換算した気温計感部の位置からトレーサガス放出位置までの水平距離 x 。縦軸は気温計感部の位置におけるトレーサガスの平均濃度 ρ 。

辺環境に応じて気温の測定精度を評価し、この評価に基づいた観測所の等級分けを提案しているが (World Meteorological Organization, 2010), こうした提案が検討の参考となるかもしれない。

謝辞

本調査は気象庁観測部の技術開発課題「低木植栽等周辺環境と露場内微気象に関する調査」(平成 26–27 年度)の一環として実施したものである。風洞実験を支援いただいた (有) 気象環境計測の堀晃浩氏と八木俊政氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- 堀晃浩・川島儀英 (2007): 大型気象風洞における大気境界層再現の方法. 日本風工学会論文集, **32**, 45–50.
- 気象庁 (2002): 気象観測ガイドブック. 36–37.
- 気象研究所 (1980): 気象研究所の新しい諸設備の紹介. 天気, **27**, 565–577.
- Monin, A. S. and A. M. Yaglom (1971): Statistical Fluid Mechanics. MIT Press, Cambridge, U.S.A., vol. 1, 591–593.
- 日本建築学会 (2015): 建築物荷重指針・同解説 (第 5 版). 日本建築学会・丸善, 東京, 26–27.
- World Meteorological Organization (2010): WMO Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation (2008 edition updated in 2010). part 1, 19–29.