

結露ディグリーアワーを用いた夏季の湿度環境評価

正会員 ○橋本 侑樹\*  
同 出端 祐輔\*\*  
同 梅野 徹也\*\*\*

露点温度 夏型結露 結露ディグリーアワー  
冷房設定温度 湿度環境

1. はじめに

近年、夏季の外気の高湿化が進行し[1]、低温室等の室内近傍で外気が流入する部位における結露(夏型結露)が発生するリスクが高まっている。夏型結露の結露量は露点温度よりも結露ディグリーアワー<sup>注</sup>との相関が高いことが知られており[2]、地域性が現れる湿度環境については都市別の結露ディグリーアワーを評価することが有効である。

本報では2009-2019年における全国30地点の気象観測結果より露点温度を算出し、さらに夏季における結露リスクが評価可能となる結露ディグリーアワーを導入し、各地点の湿度環境を評価する。

2. 方法

2.1. データ

気象庁ウェブサイト[3]より2009-2019年の6-9月における30都市(札幌, 盛岡, 秋田, 仙台, 福島, 千葉, 宇都宮, 東京, 横浜, 長野, 新潟, 金沢, 静岡, 名古屋, 和歌山, 大阪, 京都, 岡山, 松江, 広島, 徳島, 松山, 高知, 山口, 福岡, 熊本, 長崎, 宮崎, 鹿児島, 那覇)の1時間平均気温(°C), 相

対湿度(%)を取得した。

2.2. 露点温度の算出

飽和水蒸気圧(Pa)の計算は Goff-Gratch の式[4]を用いた。1時間平均気温と相対湿度より飽和水蒸気圧を算出し、二分法を用いて1時間平均露点温度を算出した。

2.3. 都市別月平均露点温度の経年変化

露点温度の経年変化を都市別に評価するため、月平均露点温度を都市別に比較した。経年変化は、被説明変数を月平均露点温度, 説明変数を年(西暦)とする線形単回帰分析をおこない、得られた回帰係数の正負により判定した。

2.4. 結露ディグリーアワーの経年変化

露点温度が閾値より高い時、その閾値からの差分とその時間積分を結露ディグリーアワー(Condensation Degree Hour: CDH)と定義し、6-9月における都市別の月積算CDHを算出し、2.3節と同様に被説明変数を月積算CDHとした線形単回帰分析により経年変化を分析した。本報では閾値として冷房期間中の室温を想定し、22, 24, 26°Cを定め、それぞれのCDHをCDH<sub>22</sub>, CDH<sub>24</sub>, CDH<sub>26</sub>と表記する。

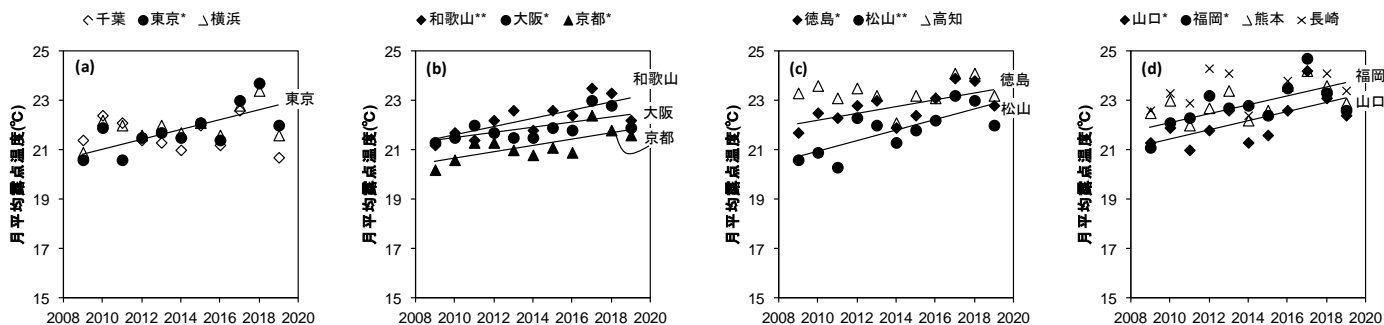


図1 月平均露点温度(7月)の2009-2019年の経年変化。(a) 東京近郊, (b) 大阪近郊, (c) 四国地方, (d) 福岡近郊。

図中の直線は統計的に有意(\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ )に経年増加していると認められる都市のみ記載した。

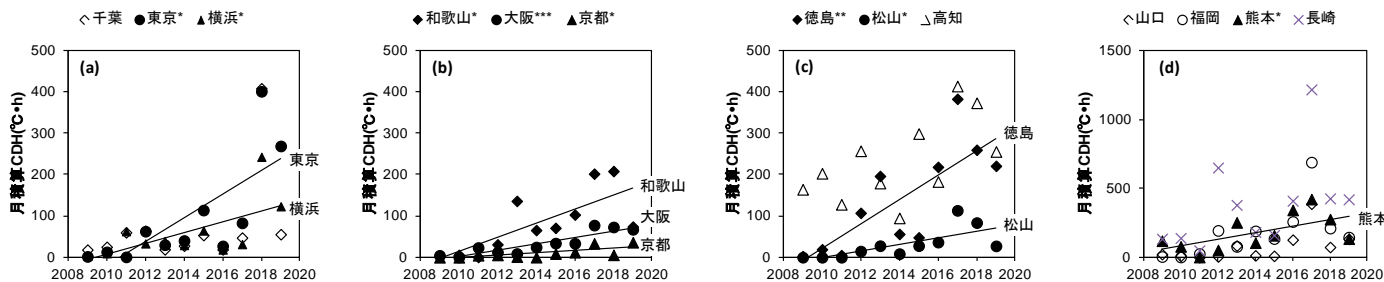


図2 月積算CDH<sub>24</sub>(7月)の2009-2019年の経年変化。(a) 東京近郊, (b) 大阪近郊, (c) 四国地方, (d) 福岡近郊。

図中の直線は統計的に有意(\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ , \*\*\*:  $p < 0.001$ )に経年増加していると認められる都市のみ記載した。

### 3. 結果

#### 3.1. 都市別月平均露点温度の経年変化

6-9月における都市別月平均露点温度の経年変化を分析した結果、6月は全ての都市にて有意な変化は認められなかった。7月は東京、和歌山、大阪、京都、徳島、松山、山口、福岡(図1)、8月は東京、和歌山、松山、9月は松山、山口、福岡、鹿児島、那覇にて有意な増加傾向を示した。また全ての月、都市にて減少傾向は認められなかった。最大の増加を示した都市は、7、9月は松山(+2.2°C/10年、+3.0°C/10年)、8月は東京(+2.6°C/10年)であった。

#### 3.2. 都市別月積算CDHの経年変化

6-9月における都市別月積算CDHの経年変化を閾値別に分析した結果を図2に示す。月平均露点温度では増加傾向を示さなかった東北地方での7、8月の月積算CDHが増加傾向を示した(図3)。一方、9月の松山、福岡、鹿児島は月平均露点温度は増加傾向を示したが、22、24、26°Cの閾値での月積算CDHは増加傾向を示さなかった。月積算では閾値は24°Cを用いた時に増加傾向を示す都市が最多となった。

### 4. 考察

#### 4.1. 月平均露点温度の上昇原因

露点温度の上昇は水蒸気量の増加を表す。水蒸気量の増加の原因は、海や湖畔等の水面からの蒸発量の増加、降水量の増加等が考えられる。蒸発量の増加は風速、気温、日射量、大気放射量の増加に起因するとされる[5]。しかし、月平均露点温度が上昇傾向にある一部の地域のみ気温上昇の傾向が確認され、その他の気象要素は増加傾向が確認されなかった。また月合計降水量の増加傾向も確認されなかった。一方で、近年頻繁に発生する集中豪雨の要因として太平洋高気圧の張り出しが北偏することが挙げられており[6]、今後は水蒸気量の増加と気圧配置の関係から考察する必要がある。

#### 4.2. 月積算CDHの有効性

CDHは時間平均露点温度と閾値の差分を時間積分したものであり、室内の温度が閾値まで定常的に冷却されていればCDHは夏型結露のリスク指標の1つになり得る。月平均露点温度では増加傾向を示さなかった東北地方の結露リスクが、CDHを用いて評価できる可能性がある。東北地域を含む寒冷地では、冷房の設定温度が24°C以下の割合が温暖地と比較すると高いことが知られており[7]、今後もCDHが増加すれば夏型結露の発生確率も高くなる。したがって、寒冷地では閾値を24°C以下にしたCDHを用いた湿度環境評価を続けていく必要がある。

2018年以降CDHが増加した都市が多く、特に東京は増

加が著しい(図4)。2016年以前、8月に26°C以上の露点温度はほとんど記録されなかったが(CDH<sub>26</sub>≒0)、2018年はCDH<sub>26</sub> = 50.6°C・hを記録した。東京のオフィスビルにおける冷房設定温度は東日本大震災の節電行動を契機に28°C近くまで上昇したものの、近年震災前の水準まで戻ってきていることが報告されている[8]。これらの状況から夏型結露発生確率は高まっていると想定され、外気を低温部位に触れさせない設計をおこなう必要性が示唆される。

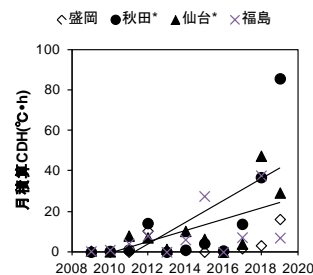


図3 東北地方における月積算CDH<sub>24</sub>(7月)の経年変化。

図中の直線は統計的に有意(\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ )に経年増加していることを認められる都市のみ記載した。

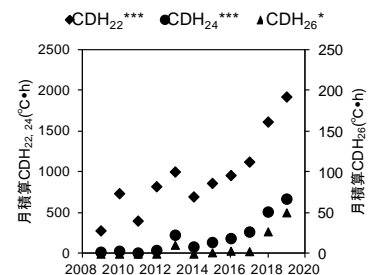


図4 東京における月積算CDH<sub>22,24,26</sub>の経年変化。

凡例中の\*は回帰係数のp値を表す(\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ )。

### 5. まとめ

本報では全国30都市の月平均露点温度の経年変化と時間平均露点温度と閾値の差分を時間積分した結露デグリーアワーCDHを導入し、各都市の湿度環境を評価した。

夏季の月平均露点温度は東京、大阪近郊、四国地方、福岡近郊で増加傾向が認められた。一方、CDHは月平均露点温度では増加が認められなかった東北地方の増加傾向や2018年以降の26°C以上となる露点温度を記録した時間増加が評価可能となった。冷房の設定温度の地域性や経年変化を加味すると、今後もCDHを用いた外気の湿度環境を継続して評価する必要性が示唆された。

#### 参考文献 (ウェブサイトは2020/3/23にアクセス確認済)

- [1] 川田・高木 (2019): 日本建築学会環境系論文集, 84(756), 197-204.
  - [2] 権藤ほか (2005): 鹿島技術研究所年報, 53, 105-112. [3] 気象庁ウェブサイト <https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php> [4] Goff & Gratch (1946), *Tran. Am. So. Heat. Vent.*, 52, 95-121. [5] 近藤・桑形 (1992): 水文・水資源学会誌, 5(2), 13-27. [6] 小坂田・中北 (2017): 水文・水資源学会 2017年度研究発表会. [7] 一般社団法人地球温暖化防止全国ネット(2017), 温室効果ガス排出実態調査年次レポート. [8] 山口ほか(2018): 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 233-236 注
- 参考文献[2]では露点温度デグリーアワーDPHour( $t$ : °C;  $t$ は閾値)と表記され、閾値を超える露点温度の年間積算値として扱っている。

\* 積水ハウス株式会社 博士 (環境学)  
\*\* 積水ハウス株式会社 修士 (工学)  
\*\*\* 積水ハウス株式会社 博士 (工学)

\* Sekisui House, Ltd. Dr. Env.  
\*\* Sekisui House, Ltd. Ms. Eng.  
\*\*\* Sekisui House, Ltd. Dr. Eng.