

南極の魅力－海氷が溶かす南極大陸氷床と日本への影響－

東京大学大気海洋研究所・教授

原田尚美

タロとジロという兄弟の樺太犬が観測隊不在の昭和基地周辺で生き延びた有名な逸話を題材にした「南極物語」、南極大陸内陸での観測と食事風景を題材にした「南極料理人」などの映画の後、南極についての情報の更新は一般向けにはあまりないのではないかと思います。私の講演では、南極地域の環境の現状、どんなふうに観測を行なっているのか？また、隊長としてどのように組織をリードしたか？などについてお話しします。

2024～2025年は大変暑い1年となり、皆さんも日本では酷暑が日常になったと感じていらっしゃると思います。熱中症などの健康被害も深刻です。南極では、どのような変化がおこっているのでしょうか。南極大陸からせり出している「棚氷」と呼ばれる氷河の末端部分は、その底辺部が海水と接しているため、暖かい海水の影響で融解が加速するのではないかと言われ始めています。末端部が融解していくと、陸側の標高の高い内陸部にある巨大な氷河「氷床」が徐々に海の方向に押し寄せます。そこで暖かくなったり海水と触れることで、さらに解けていくという悪循環に陥る可能性があります。南極には地球上の90%もの淡水が氷床の形で存在しています。この氷床がすべて解けると海面が約60メートルも上昇すると予測されています。たとえ、そこまでの状況に達しなくても、南極の氷床の融解がもたらす海面水位の上昇は、多くの島々や大陸の沿岸部を水

没させることになります。そして近い将来、それが現実になる恐怖を覚えます。私たち日本人も多くの人々が沿岸部の大都市圏で生活しているだけに、この事態は軽視できる状況にはありません。埼玉がどうなるか？についても講演では触れていきます。

南極は、今もブリザードなど死に直面する厳しい気候に変わりありませんが、基地の施設が整備され、国内での南極を想定した充実した寒冷地訓練を受けることで女性を含め山岳経験などがない多様な人材が参加しています。徐々に女性隊員も増えており、第6次では114名中25名を女性が占めます。南極は有事に外からの緊急応援を得にくく場所だけに、隊員間の相互信頼は極めて重要です。多様性あふれた組織には活力や耐性があると思います。少数派の経験を生かし、小さな声に耳を傾けて個々の能力が十分発揮できるようにどのように行動してきたかなどについても触れたいと思います。

化学物質の環境動態

～ダイオキシンはどこからやってくる？～

化学物質・環境放射能担当 落合 祐介

1 はじめに

ダイオキシン類は、人工的に作り出された物質の中でも最も強い毒性があると言われている環境汚染物質です。ここで、ダイオキシン“類”と書いた理由は、多数の化合物の総称だからです。図1に示すような構造をしていて、ベンゼン環（◎）にくっついた塩素（Cl）の数や位置の違いによってたくさんの種類が存在します。ポリクロロジベンゾ-パラ-ジオキシン（PCDD）75種類、ポリクロロジベンゾフラン（PCDF）135種類、そして209種類あるポリクロロビフェニル（PCB）のうちPCDDやPCDFと同様の毒性を示す12種類（DL-PCB）を合わせてダイオキシン類と呼んでいます。

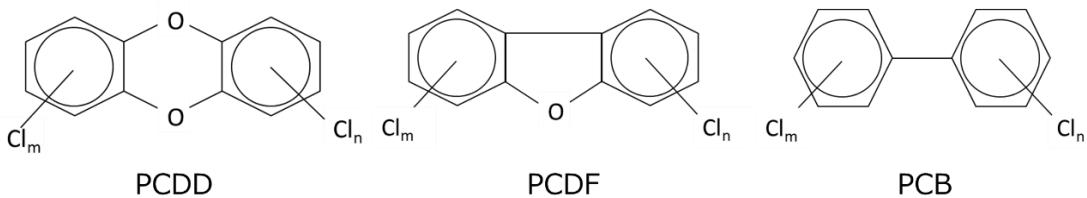


図1 ダイオキシン類の構造

ダイオキシン類の毒性の強さは化合物ごとに異なっていることから、ダイオキシン類の毒性を総合的に評価する方法として毒性等量（TEQ）が用いられています。これは、すべての化合物を、ダイオキシン類の中で最も強い毒性を持つ2,3,7,8-TeCDDの毒性に換算した値です。世界保健機関は、ダイオキシン類のうち29種類の化合物（PCDD：7種類、PCDF：10種類、DL-PCB：12種類）に関して、2,3,7,8-TeCDDに対する相対的な毒性の強さを示す毒性等価係数（TEF）を定めています。それぞれの化合物の濃度とTEFを乗じ、合計したものがTEQとなります。環境基準や排出基準はこのTEQで評価され、表記する際には単位に「-TEQ」が付されます（例：大気の環境基準の単位は、pg-TEQ/m³）。さらに、ダイオキシン類は構造が化学的に安定であることから、分解されにくく、環境残留性が高いという特徴があります。国内環境でダイオキシン類を調査し、ダイオキシン類が半減するまでの時間（半減期）について報告した例では、湖の堆積物中で50～77年¹⁾、水田土壤中で11～45年^{2,3)}といずれも長期であることが述べられています。また、ダイオキシン類はストックホルム条約の残留性有機汚染物質（POPs）に指定され、国際的にも規制されていることから、現在においてもその動向が注視されています。

環境中のダイオキシン類は、廃棄物の焼却や化学物質の製造時などで非意図的に生成されたものです。ダイオキシン類の汚染源としては様々なものが報告されていますが、国内における主要な汚染源は、①燃焼（廃棄物焼却）時の副生成物、②絶縁油などで使用されたPCB製品の不純物、③水田除草剤として使用されたペンタクロロフェノール（PCP）製剤や④クロルニトロフェン（CNP）

製剤の不純物、これら4つと考えられています。なお、②～④の製品は現在製造されていないことから、これらに由来する新たな環境汚染は考えにくいものの、ダイオキシン類は環境残留性が高いことから、過去の汚染が現在も環境中から検出されていると考えられています。また、埼玉県環境科学国際センターではこれらの4つの汚染源に着目し、各汚染源に指標となる化合物を見出し、これらの実測濃度から各汚染源の影響を推算する手法、指標異性体法⁴⁾を開発しています。

2 ダイオキシン類の排出量及び環境中の濃度推移

国内におけるダイオキシン類の環境への排出量を図2に示しました。これまでに、国内の環境中へ排出されたダイオキシン類の大部分はペントクロロフェノール製剤やクロルニトロフェン製剤といった農薬に由来していることがわかります。一方、昭和58年に廃棄物焼却炉で発生したばいじん（廃棄物焼却で発生する微細な粒子）からダイオキシン類が検出されたことで廃棄物焼却炉から発生するダイオキシン類に関心が高まりました。その後、平成9年に大気汚染防止法が改正されてダイオキシン類が指定物質になったことで規制が始まり、平成12年には、ダイオキシン類対策特別措置法（ダイ特法）が施行されたことで、廃棄物焼却炉などのダイオキシン類を排出する事業場について規制が設けられました。これによって、ダイオキシン類の規制が始まった平成9年におけるダイオキシン類の排出量は8000 g-TEQ/年⁶⁾を超えていたものの、平成27には120 g-TEQ/年⁶⁾と、平成9年と比較して約99%減少しています。

ダイ特法には、ダイオキシン類の規制に関する事項の他に、ダイオキシン類の汚染状況を把握するための調査についても明記されていて、地方公共団体が大気や河川水中のダイオキシン類調査を行っています。この中で大気調査では、調査が開始された平成9年から平成17年までは大気環境基準(0.6 pg-TEQ/m³)を超過する地点が見られましたが、平成18年以降は全ての地点で環境基準を満たしています⁷⁾。一方で、河川や湖沼、海域における水質中のダイオキシン類調査では、水質環境基準(1 pg-TEQ/L)を超過する地点が現在でも散見されます⁷⁾。河川の水質中のダイオキシン濃度が基準超過する要因の1つとして、土壤に残留するPCP製剤やCNP製剤に由来する汚染が降雨等によって河川に流出する影響が報告されています^{3,8)}。ところで、乾季になると土埃が舞いやすくなります。ダイオキシン類が土壤に残留していれば、大気中に舞い上がっていること（再浮遊）が考えられますが、これについて言及した報告はほとんど見られません。そこで、大気および大気降下物（大気中から地面に落ちる塵や雨を集めしたもの）にPCP製剤やCNP製剤など農薬に由来するダイオキシン類が見られるか調査しました。

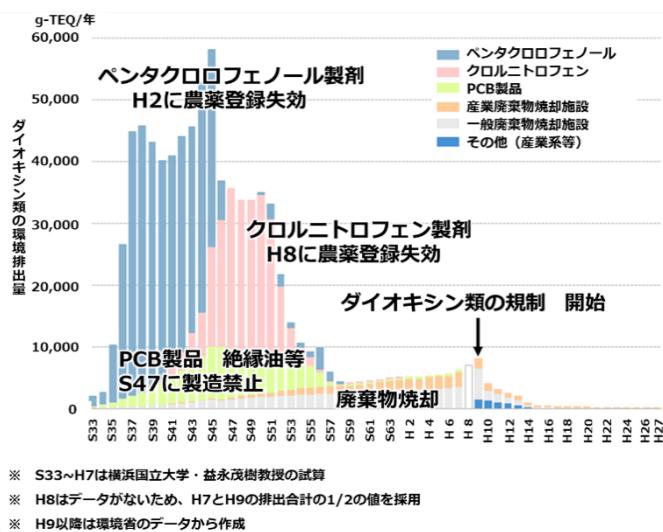


図2 国内環境におけるダイオキシン類の排出量⁵⁾
(塩ビ工業・環境協会から引用、一部修正)

3 汚染源解析によるダイオキシン類の環境動態の解明

大気試料は通常の測定方法に従い、ハイボリウムエアサンプラに石英ろ紙 1 枚とポリウレタンフォーム 2 個をセットして採取しました。ただし、1 回あたりの試料採取期間は約 1 か月⁹⁾とし、令和 4 年 9 月から令和 5 年 8 月までの 1 年間調査しました。なお、調査地点は加須市にある埼玉県環境科学国際センターの敷地内で行いました。大気降下物試料はステンレス製容器で採取し、容器が乾いて捕集した降下物が飛散しないように蒸留水を適宜加えました。試料の採取期間や採取地点は大気と同じです。大気及び大気降下物を分析して得られた結果に指標異性体法を適用して各汚染源の寄与を推定し、図 3 および 4 に示しました。調査期間を通して、大気中ダイオキシン類濃度は大気環境基準の値を下回っていました。各汚染源からの影響について見ると、燃焼による影響が大半を占めており、農薬に由来するダイオキシン類の影響はほとんど見られませんでした。一方で、大気降下物では、燃焼に加え、農薬に由来するダイオキシン類の影響も強く見られました。特に、1~3 月といった乾季に農薬に由来するダイオキシン類の影響が強くなる傾向が見られました。これは、乾季は空気が乾燥し、強い風が吹くことから、土壤の巻き上げが発生しやすいことが要因のひとつと考えられます。また、大気では農薬に由来するダイオキシン類の影響がほとんど見られなかったのに対し、大気降下物では明確に影響が確認されたことから、再浮遊したダイオキシン類が大気中に漂う時間は比較的短いことが示唆されました。

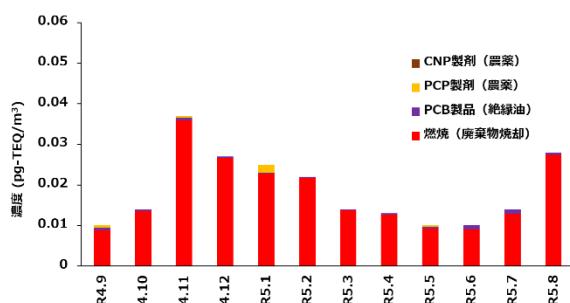


図3 大気中のダイオキシン類濃度

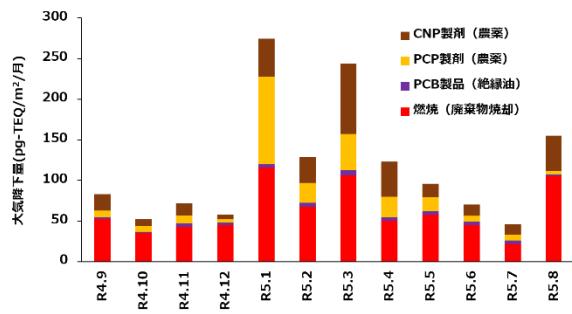


図4 大気降下物中のダイオキシン類量

4 埼玉県のダイオキシン類調査結果 昔と今

大気降下物は大気より再浮遊するダイオキシン類の影響が強いことを考えると、過去と比較して大気降下物中のダイオキシン類量は大きく減少していない可能性があります。そこで、平成 9 年に埼玉県で実施された大気および大気降下物中の調査と今回の調査の結果を表 1 にまとめて比較しました。両調査結果から大気中のダイオキシン類濃度の低下率は 98%、大気降下物中のダイオキシン類量の低下率は 93%となり、大きな差異は見られず、両者ともに顕著に低下していることが確認されました。つまり、現在の大気降下物から検出されるダイオキシン類は、ダイオキシン類の排出量が減少したことで再浮遊する影響が相対的に強く見られますが、ダイオキシン類の排出量が多かった過去においては、廃棄物焼却炉の排ガスなどによってたらされる影響が強かったものと推測されます。

表1 大気および大気降下物中に含まれるダイオキシン類の比較（平成 9 年と令和 4~5 年）

	平成9年（※1）	令和4~5年（※2）	低下率
大気 (pg-TEQ/m³)	0.77	0.019	98%
大気降下物(pg-TEQ/m²/月)	1600	120	93%

※1 環境省の調査結果¹⁰⁾（県内5地域の平均）、※2 本調査の平均

5 おわりに

現在、ダイオキシン類の主な排出源は廃棄物焼却ですが、ダイ特法の排出規制によって環境への排出量は著しく低下しています。一方で、水田除草剤として使用されたPCP 製剤やCNP 製剤に由来するダイオキシン類が大気降下物から検出され、過去のダイオキシン類汚染が再浮遊していることが確認されました。しかしながら、大気および大気降下物から検出されたダイオキシン類は、平成9年度と比較して著しく低下していることからヒトへの暴露量は低減しているものと推測されます。

文献

- 1) 益永茂樹. (2000). 日本におけるダイオキシン汚染の原因とその変遷—除草剤由来のダイオキシン類の寄与—. 廃棄物学会誌, 11(3), 173-181.
- 2) Seike, N., Kashiwagi, N., Otani, T. (2007). PCDD/F contamination over time in Japanese paddy soils. Environ. Sci. Technol., 41(7), 2210-2215.
- 3) 加藤陽一, 玉田将文, 秀平敦子, 加藤みか. (2009). 水田土壤中のダイオキシン類残留量及び流出量の推計. 環境化学, 19(1), 25-40.
- 4) Minomo, K., Ohtsuka, N., Nojiri, K., Hosono, S., Kawamura, K. (2010). Apportionment of TEQs from four major dioxin sources in Japan on the basis of five indicative congeners. Chemosphere, 81(8), 985-991.
- 5) 塩ビ工業・環境協会. 激減したダイオキシン
- 6) 環境省. (2025). ダイオキシン類の排出量の目録（排出インベントリー）
- 7) 環境省. (2025). 令和5年(2023年)度ダイオキシン類に係る環境調査結果について
- 8) 富田孝子. (2013). 愛知県の河川・湖沼におけるダイオキシン類の高濃度要因調査. 愛知県環境調査センター所報, 40, 25-34.
- 9) 落合祐介, 襟毛康太郎, 大塚宜寿. (2024). ハイポリウムエアサンプラーを用いた大気中ダイオキシン類の長期間サンプリング, 環境化学, 34, 21-29.
- 10) 環境省. (1998). 平成9年度ダイオキシン類の総合パイロット調査結果について

熱中症を予防するために～暑さ指数の活用～

温暖化対策担当 大和 広明

1 はじめに

地球温暖化の進行が進んでおり、IPCC 報告書の最新版である第 6 次評価報告書第 1 作業部会報告書によれば、世界の平均気温は 1850 年から 2020 年に 1.09°C 上昇しました¹⁾。温暖化によって、猛暑や降雨強度の増大などの気候変動の影響がすでに感じられています。温暖化による気温上昇量が増加するにつれて、今後災害リスク等も増加していくと予測されています²⁾。そのため、従来から国や地方自治体での温暖化対策の主流であった、温暖化の進行を食い止める緩和策だけでなく、温暖化の悪影響を回避・軽減できる対策である、適応策の推進が必要となってきております。

埼玉県内で顕著な気候変動の影響が発生している分野は、夏季の高温とそれに伴う熱中症の発生です。2018 年当時、熊谷地方気象台で全国で最も高い気温である 41.1°C を観測するなど夏季の暑熱環境が厳しい県です。特に直近の 3 年間は、日最高気温が 35°C 以上の猛暑日の日数が連続して過去最高の日数を更新するなど、暑熱環境の悪化が続いております（図 1）。熱中症による救急搬送者数は全国でも毎年上位であり、2022 年には全国で東京都に次いで 2 位、2021 年と 2023 年には全国 3 位、2024、2025 年も全国 4 位の搬送者数の多さでした（表 1）。

環境科学国際センターでは、地球温暖化の進行に伴って夏季の暑熱環境が悪化していることから、熱中症対策を気候変動の悪影響を軽減する「適応策」に位置付け、熱中症対策の調査研究及び普及啓発事業を現在進行形で推進しております。今回の発表では、独自に取り組んでいる、暑さ指数を活用した熱中症対策を紹介します。

表 1 都道府県ごとの熱中症による救急搬送数

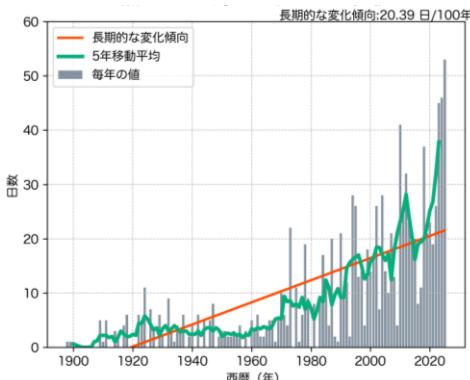


図 1 熊谷地方気象台における猛暑日日数

	第一位	第二位	第三位	第四位	第五位
2025	東京都	大阪府	愛知県	埼玉県	神奈川県
	9,315	7,202	6,653	6,141	4,972
2024	東京都	大阪府	愛知県	埼玉県	神奈川県
	8,100	7,253	6,382	5,528	4,814
2023	東京都	大阪府	埼玉県	愛知県	神奈川県
	7,325	5,951	5,719	5,422	4,024
2022	東京都	埼玉県	大阪府	愛知県	神奈川県
	5,954	4,663	4,628	4,305	3,340
2021	東京都	大阪府	埼玉県	愛知県	神奈川県
	3,446	2,844	2,702	2,592	2,244

2 インターネットにつながる暑さ指数計

2. 1 暑さ指数とは

熱中症の危険性を表す指標はいくつかありますが、環境省からも発表されている暑さ指数に着目しています。暑さ指数とは、人体と外気との熱のやりとり（熱収支）に着目した指標です。湿度、日射・輻射（ふくしゃ）など周辺の熱環境、気温の 3 つを取り入れた指標です。気温や湿度が高く、直射日光があたる、風が弱い時に、暑さ指数が大きくなり、熱中症の危険性が高くなります。暑さ指数の値と熱中症の危険性は表 2 の通りです。この表に記載のある暑さ指数以上に、熱中症の危険性が予測されるときには、国から熱中症警戒アラート等が発令され、特に熱中症対策を取る必要があります。

表2 暑さ指数と熱中症の危険性の関係

暑さ指数 (WBGT)	注意すべき 生活活動の目安	注意事項
危険 (31以上)	すべての生活活動で おこる危険性	高齢者においては安静状態でも発生する危険性が大きい。 外出はなるべく避け、涼しい室内に移動する。
厳重警戒 (28以上31未満)		外出時は炎天下を避け、室内では室温の上昇に注意する。
警戒 (25以上28未満)	中等度以上の生活 活動でおこる危険性	運動や激しい作業をする際は定期的に充分に休息を取り入れる。
注意 (25未満)	強い生活活動で おこる危険性	一般に危険性は少ないが激しい運動や重労働時には発生する危険性がある。

日本気象学会「日常生活における熱中症予防指針Ver.4」(2022)より改編 ※

2. 2 インターネットにつながる暑さ指数計の開発及びこれまでの測定結果

埼玉県内では夏の暑い日に、南より海からの冷たい空気が海風とともに侵入して、暑さ指数が急低下することが多いため、暑さ指数がリアルタイムでわかれば、暑さ指数の低下する時間帯を推測して、比較的安全に屋外活動が行える時間を特定できると考えました。そこで、この暑さ指数の時間変化を捉えられるように、インターネット上で測定値を確認できる測定装置である、「IoT 暑さ指数計」の開発を2020年から開始しました(図2左)。



図2 IoT 暑さ指数計（左：環境科学国際センターの開発したもの、中央：大宮工業高等学校の生徒製作のもの、右：共同研究先の企業の製品）

マイコンに温度・湿度センサーを接続し、ネット接続可能な基盤を組み合わせて製作しました。暑さ指数を観測するためには黒球温度の観測が必要ですが、その為に使用する直径15cmの黒球を設置するのは、進化する百葉箱を設置する場所が狭い観測点があり困難であったため、先行研究⁴⁾で採用された黒色塗装したピンポン球を黒球の代用として採用しました。IoT 暑さ指数計の測定精度の検証のため、暑さ指数を正確に測定できる15cm黒球や高精度の温湿度計を用いて比較観測を実施したところ、概ね±1.0°Cであり、正確に測定できることがわかりました⁵⁾。開発したIoT 暑さ指数計は2021年に試験的に野外での観測を開始し、2022年からは測定値を埼玉県気候変動適応センターのHPで公開しました。また開発したIoT 暑さ指数計を県立大宮工業高校の生徒にも作成してもらい(図2中央)、2023年には生徒製作のIoT 暑さ指数計の測定値も公開しました。IoT 暑さ指数計の保守点検が大変になってきたため、2023年より県内企業とIoT 暑さ指数計の製品化に向けて共同研究を行い、2025年から製品化されて、企業の製品の測定値も公開しています(図2右)。

これまでの測定結果として、2023年の快晴日16日における、暑さ指数の時間変化を図3に示します。東京湾からの海風が吹いてくる方向を考えて、県の南部から北部の観測点を、県の東部、中央部、西部からそれぞれ3地点選びグラフにしました⁵⁾。県東部では11時頃までは暑さ指数がほぼ同

じような上昇傾向が見られるが、12時頃から暑さ指数が南側の観測点から上昇傾向から横ばいとなり、午後になると南部より順次暑さ指数が減少している傾向がありました。県中央部ではいずれの地点も暑さ指数が14時頃まで緩やかに上昇傾向が続き、15時以降はほぼ同じ暑さ指数を観測しつつ、急激に低下をしているのが県東部との違いです。県西部では県東部ほどで明瞭ではありませんが、午後になると南部より順次暑さ指数や気温が減少している傾向がみられました。県東部や県西部では暑さ指数が県南部の観測点より順次低下する傾向が確認できましたが、県中央部ではその傾向が不明瞭でした。これは、県中央部は東京都心の風下地域に当たり、都心の影響を受けて相対的に暖かい海風が吹く地域であるため、夕方まで他の地域よりも暑さ指数が高い傾向であったと考えられます。

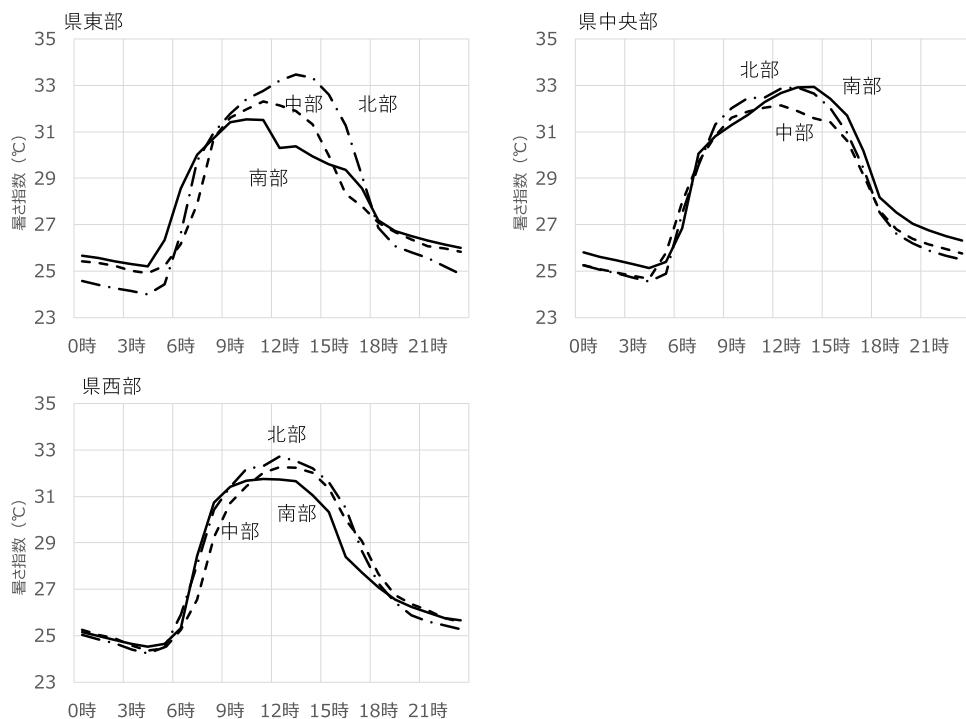


図3 2023年の快晴日16日における暑さ指数の時間変化

3 リアルタイムでの暑さ指数の情報発信とそれを活用した熱中症対策

県民へ自分の近くの暑さ指数をインターネットで確認してもらって、暑さ指数の値に応じた熱中症対策を行ってもらうことを目的に、IoT暑さ指数計の測定値を適応センターのHPで公開しました。2022年から毎年実施しておりまして、暑さ指数の測定値を約10分毎に公開しました（図4）。パソコンでもスマートフォンでも確認できるため、外出中でも暑さ指数を確認することができます。

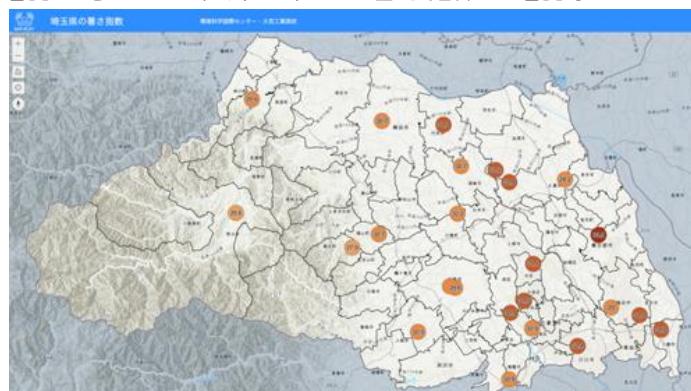


図4 IoT暑さ指数計の測定値の公開ページ（2023, 2024年）

これまでの暑さ指数の公開画面では、海風の侵入に伴う、暑さ指数の低下する時間の推測には、適さなかったので、従来の機能に加えて、暑さ指数の過去の時間変化を確認できるようにしたページを使用して、2025年は暑さ指数を公開しました（図5）。この公開ページは、海風による暑さ指数の低下を可視化できるように共同研究先の企業のシステムを用いたものです。暑さ指数の時間変化と風の表示によって、南からの海風に伴う冷気の侵入具合を把握することが可能となっております。そのため、従来のページより効果的な熱中症対策が可能になっています。



図5 IoT暑さ指数計の測定値の公開ページ（2025年）

参考文献

- 1) Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers in Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press; 2021.
- 2) Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability, Contribution of working group II to the sixth assessment report of the IPCC. Cambridge University Press; 2022.
- 3) 環境省地球環境局. 気候変動適応法 逐条解説. 2018. <https://www.env.go.jp/content/900449823.pdf> (2026年1月9日確認)
- 4) 酒井敏, 梅谷和弘, 飯澤功, 伊藤文, 小野耕作, 矢島新, 飴村尚起, 森永修司. 都市熱環境観測システムの開発研究. 天氣. 2009; 56 : 337-351.
- 5) 大和広明. 埼玉県内における熱中症対策の取組事例の紹介—埼玉県気候変動適応センターを中心に—. 保健医療科学. 2025; 74:103-111.

謝辞

インターネットにつながる暑さ指数計（IoT暑さ指数計）の開発、製作には、環境省の令和3～5年度国民参加による気候変動情報収集・分析委託業務による支援を受けました。