

論文 暑中コンクリート工事の適用期間を詳細に示すメッシュマップの作成

高杉 文也*1・西脇 智哉*2・伊藤 是清*3・小山 智幸*4

要旨: 暑中環境で打ち込まれるコンクリートの品質は、打込み前後の管理状態に大きく影響を受ける。暑中コンクリート工事に関する指針類では、日平均気温の平年値 [10年] から推計した暑中期間が例示されるが、実測値の得られる地点は限られるため、個別の建設位置での期間と一致しない場合がある。そこで、1 km メッシュで推定された気象データおよび地理情報システムを活用してメッシュマップを作成し、暑中期間の可視化を試みたところ、実測値との整合性が確認され、メッシュマップの有用性を確認できた。この一方、近年散見される突発的な猛暑を踏まえた期間設定には改善の余地が残されていると考えられる。

キーワード: 暑中コンクリート, 暑中期間, 平年値, 気候特性, GIS, メッシュマップ

1. はじめに

高温環境下においてコンクリートは水和反応が促進され、凝結が早まることで、打込みから締固めといった一連の作業を行える時間が短くなってしまふ恐れがある。その結果、不十分な措置によってコールドジョイントなどが発生してしまうと、構造耐力や耐久性の低下を招く。加えて、湿潤養生が十分でない場合には、急激な乾燥に伴う強度低下も生じやすくなる。しかし、暑中環境におけるコンクリート性状の変化は、温度の上昇に伴って徐々に変化するため、水の凍結のような状態変化に伴う寒中コンクリートとは異なり、ある温度を境にして急激な変化が現れるものではない。そのため、初期凍害のようにコンクリートに致命的な悪影響を直接与えるものという認識が強くない場合も考えられる。しかしながら、特に近年では夏季の気温上昇は明らかであり、より高強度なコンクリートの使用が一般になっている現状では、高温環境と水和熱の増大によるコンクリート温度の上昇がもたらす不具合が顕在化しやすい環境であると言える。そのため、暑中コンクリートでは品質確保の観点から、製造時から硬化初期まで適切な措置が求められる。

適切な暑中コンクリート対策にはコスト増が不可避であり、日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事²⁾」(以下、JASS 5) および「暑中コンクリートの施工指針・同解説³⁾」(以下、暑中指針) では、暑中コンクリート工事の適用期間(以下、暑中期間)を設定している。特記によることを基本とし、特記がない場合は暑中期間を次のように定めている。

(1) 日平均気温の日別平滑値が 25.0 °C を超える期間を基準とし、この期間を暑中期とする。ここで用いる日別平滑値は、過去 10 年間の日平均気温の日別平

滑値(以下、平年値 [10年]) を標準とする。

(2) (1) で設定した期間のうち、日平均気温の平年値 [10年] が 28.0 °C を超える期間を基準とし、この期間を酷暑期とする。

この酷暑期の設定について、JASS 5 では受入れ時のコンクリート温度は原則 35 °C 以下としており、出荷日の日平均気温が 28.0 °C を上回れば受入れ時のコンクリート温度が 35 °C を超える傾向が確認されたため、入念な対策を義務付けたことに由来する²⁾。

また、土木学会「コンクリート標準示方書 [施工編]⁴⁾」(以下、標準示方書) では、JASS 5 における条件(1)にあたる、日平均気温が 25 °C を超えると予想される期間を暑中コンクリートの適用期間としている。また、2023 年の改訂では具体的な期間は明示されていないが、打込み時のコンクリート温度が 35 °C を超える場合の対策が追記され、JASS 5 における条件(2)との整合性がとられた。

以上の暑中期間は、実際に施工を行う位置での実測データに基づいて設定することが基本であるが、過去にさかのぼって施工地点の実測データを得ることは容易でない場合も多い。JASS 5 では、気象台やアメダスの設置位置などを含む代表的な自治体名を挙げて、暑中期間の目安を示している。しかしながら、気象条件は標高などにも大きく左右されるため、同一市町村内でも地域差が大きいと考えられる。

そこで、暑中指針では気象庁より公開されている 1 km メッシュの気象解析データ⁵⁾ (以下、メッシュ平年値) を用いて、暑中期および酷暑期の継続日数の地理的分布を示している(図-1)³⁾。この地図は、1981 年から 2010 年の平年値をもとに、月平均気温と暑中期・酷暑期の継続日数の相関から作成され、北海道以外の全国で、特に

*1 東北大学大学院 工学研究科都市・建築学専攻 (学生会員)

*2 東北大学大学院 工学研究科都市・建築学専攻准教授 博士 (工学) (正会員)

*3 東海大学 文理融合学部人間情報工学科教授 博士 (工学) (正会員)

*4 九州大学大学院 人間環境学研究院都市・建築学部門准教授 博士 (工学) (正会員)

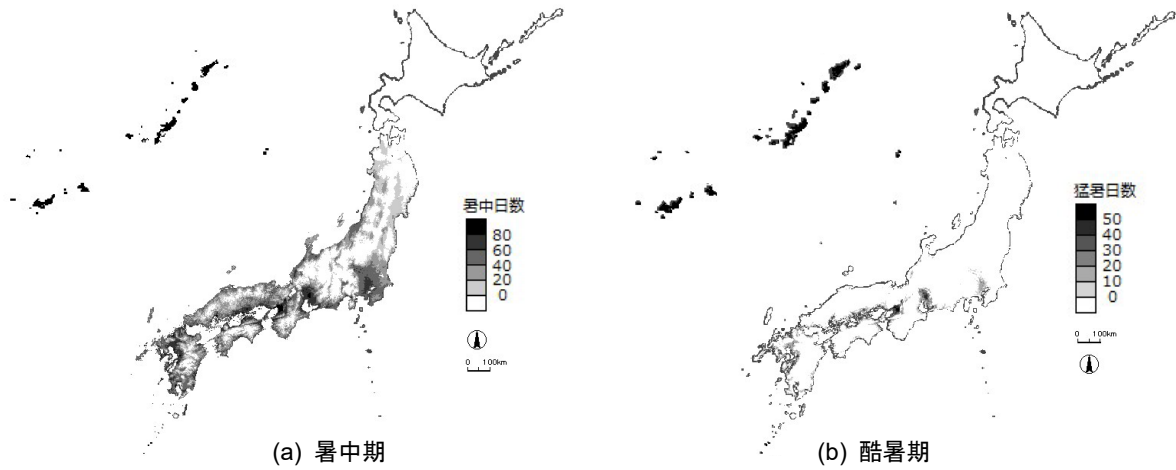


図-1 暑中期・酷暑期の継続日数³⁾

【n = 891】 括弧内：地点数	
■ 200 日以上	(11)
■ 180 以上 200 日未満	(104)
■ 150 以上 180 日未満	(83)
■ 120 以上 150 日未満	(124)
■ 90 以上 120 日未満	(122)
■ 60 以上 90 日未満	(95)
■ 30 以上 60 日未満	(77)
■ 1 以上 30 日未満	(28)
□ 寒中適用外	(247)

(a) 観測地点に基づくもの⁶⁾ (b) メッシュ平年値に基づくもの
(7)をもとに作成)

図-2 寒中期間の適用期間を示すメッシュマップ

大都市圏や九州以南の地域でより長い継続日数が確認された。また、著者らによる既往の検討として、メッシュ平年値 2020⁵⁾を用いて、寒中コンクリート工事を適用する期間を詳細に示すメッシュマップの作成を行った(図-2⁶⁾、⁷⁾)。気象観測所によって簡易的に線引きをしたものに対してより詳細な地図となっていることから、最寄りの地点における適用期間の目安をそのまま適用することに対するリスクを指摘した。

このように、JASS5 で例示された期間をそのまま適用するよりも、各現場の気象条件に応じて施工計画を検討することが望ましい。また、施工計画の策定は、実際の施工時期よりも数か月以上前に行う必要があり、大規模工事の場合は工期が数年に亘ることもある。そのため、適切な工事や暑中対策の判断を行うには、より確からしい詳細な気象データに基づくことが望ましい。以上の背景を踏まえて、全国各地の暑中期間についてより詳細に示す地図を作成することは、合理的な施工計画の基盤として有用であると考えられる。そこで本報では、暑中コンクリートの適用期間を詳細に示すメッシュマップを、JASS5 や暑中指針で提示されていない地域を含めて作成することを提案する。

【n = 915】 括弧内：地点数	
● 酷暑期にも該当	(216)
● 暑中期にのみ該当	(377)
● 該当なし	(322)

図-3 暑中コンクリート工事の該当地点
(対象：気象観測所 915 地点)

2. 暑中コンクリート工事に影響する気候特性

暑中指針では前述の通り暑中環境を暑中期と酷暑期の2段階に分割して適用期間を設定している。ここでは全国各地の気象観測所 915 地点を対象に、暑中期間の適用条件について整理する。

図-3 は、気象観測所 915 地点における 2023 年の観測データに基づいた暑中期間の該当地点を示す。暑中期の条件に該当する地点は全国に 593 地点あり、それは東北地方以南のほぼすべての地域に分布していることが確認される。また、このうち酷暑期に該当する地点は全国に 216 地点あり、関東以南の太平洋側沿岸部、北陸以南の日本海側沿岸部と、幅広く分布していることが確認される。一方で、暑中期と酷暑期のどちらにも該当しない地点は 322 地点であり、主に北海道および本州の山間部に限定され、この地点では暑中コンクリート工事の適用を受けない。

図-4 は各地点における暑中期・酷暑期の適用日数に関して色分けをした地図である。全体的な傾向として、暑中期については、奄美・沖縄地方で 105 日以上、九州地方・四国地方・関西地方・東海地方で 60~90 日、中国地方・北陸地方・関東地方で 30~75 日、東北地方で 45

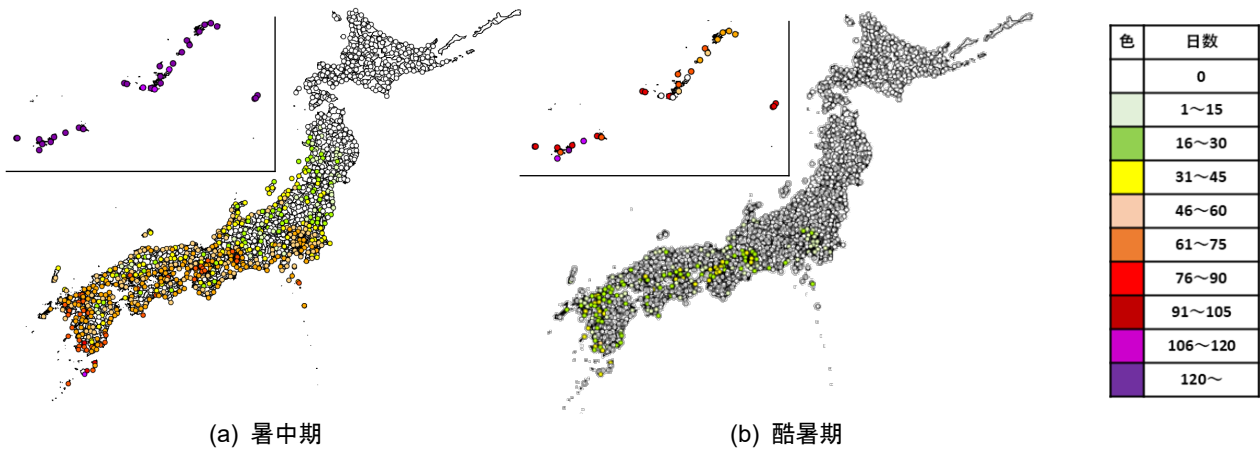


図-4 暑中コンクリート工事の適用期間の日数（対象：気象観測所 915 地点）

日未満となっていることが確認され、沖縄地方から北東に向かうほど減少する。また、酷暑期については、奄美・沖縄地方で 60 日以上、九州地方・四国地方・関西地方・東海地方で最大 45 日、中国地方・北陸地方・関東地方で最大 30 日、東北以北では該当しないことが確認された。

暑中対策の実施にはコスト増が避けられないが、品質確保の観点から対策の実施が要求される。一方で暑中指針等に掲載される目安は主要都市の実測値に基づくデータであるため、その自治体全体を網羅するものではない。また、これらの主要都市は都市規模が大きく、国土面積に対する人工被覆域の割合が大きいことから、そのような代表値から都市化の状況が異なるほかの地域を類推することは難しいと考えられる。気象台やアメダスによるデータは全国各地で得られるものの、いずれも観測所における点データに過ぎないので、それ以外の地域に適用するための合理的な手法の確立が必要である。

3. 検討概要

3.1 メッシュ平年値 2020

前節で示した課題に対応するため、本検討で使用した気象データは、気象庁の公開する「メッシュ平年値 2020」である。本データは気象台およびアメダス観測所のない地域の平年値を、地形などの影響を考慮に入れて、1 km 四方の格子状に推定したものであり、日本全国を対象に日平均気温、日最高気温、日最低気温、降水量、最深積雪、日照時間、全天日射量の 7 要素について作成されている⁸⁾。ここでは日平均気温のデータを使用した。日平均気温は観測点における平年値に関して、緯度・経度、標高、勾配といった地形因子および国土面積に対する建物、交通等用地割合を示す人工被覆率（都市因子）との統計的關係を重回帰分析によって推定され、1 km 四方で値が与えられている。地形因子および都市因子は、標高・傾斜度 3 次メッシュデータ（平成 23 年度版）⁹⁾および土地利用 3 次メッシュデータ（平成 26 年度版）⁹⁾に基づい

ている。また、実測データは 1991 年から 2020 年までの観測値が採用されている。

メッシュ平年値 2020 では、日平均気温の 1 km メッシュデータを重回帰分析する上で、まず各観測所における気象観測データ、地形因子、都市因子間の関係を示す重回帰式を算出している。次に、日本国内を北日本、東日本、西日本・島嶼部の 3 領域に分割し、各領域で重回帰分析を行っている。また、各領域の境界では平滑化処理が行われ、データ上では統合されている⁸⁾。

ここで用いる 1 km メッシュの気象データは世界測地系による標準地域メッシュの 3 次メッシュ（第 3 次地域区画）に対応したものである。標準地域メッシュは 20 万分の 1 に相当する 1 次メッシュ、それを縦横に 8 等分した 2 次メッシュ、それらをさらに縦横に 10 等分した 3 次メッシュがあり、それぞれメッシュコードが割り振られている。

3.2 事前処理

本報では、メッシュ平年値 2020 の気象データに基づいて暑中期間の算定を行うが、暑中期間は原則直近の平年値 [10 年] に基づいて算定させる一方、メッシュ平年値は 1991～2020 年の平年値を示すものであり、このデータをそのまま採用することはできないため、以下の事前処理を行うことで平年値 [10 年] を模擬する。

まず、全国の気象観測所 915 地点の 2011～2022 年の日別日平均気温観測値を取得し、2011～2020 年（期間 A）、2012～2021 年（期間 B）、2013～2022 年（期間 C）の日別平滑値を算定した。次に、各気象観測所（地点 i ）および各期間について、平年値との差分 ΔT_i を日毎に算出した（式(1)）。

$$\Delta T_i = T_{10\text{-year}} - T_{30\text{-year}} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1)$$

ただし、 $T_{10\text{-year}}$ ：平年値 [10 年]

$T_{30\text{-year}}$ ：平年値

続いて、各メッシュデータ $t_{k,30\text{-year}}$ について、最寄りの 4 気象観測所の差分 ΔT_i を、距離による重みをつけて日

毎に加算し、各 10 年期間の平年値 [10 年] $t_{k-10-year}$ を算定した (式(2), 式(3))。

$$D = \sum_{i=1}^4 1/d_i \quad (2)$$

$$t_{k-10-year} = t_{k-30-year} + \sum_{i=1}^4 \frac{1/d_i}{D} \cdot \Delta T_i \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3)$$

ただし、 $t_{k-10-year}$: メッシュコード k における平年値 [10 年]

$t_{k-30-year}$: メッシュコード k における平年値

d_i : メッシュと気象観測所 i との距離

これはメッシュデータが既に地形や都市因子を反映させたものであり、気温の変動による傾斜のみで平年値 [10 年] のメッシュデータが模擬可能であるという仮定を踏まえたものである。

3.3 暑中期間の算定とメッシュマップの作成

前項で作成したメッシュデータをもとに、日平均気温が 25.0 °C を超える初日と末日の日付を算出した。また、得られた初日・末日を含んだその間の総日数を算出し、これらを各メッシュの暑中期間データとした。総日数は原則 25.0 °C を超える日数と一致するが、平滑化処理においては気温の推移に波が生じ、該当期間内であっても 25.0 °C 以下となる日の存在が懸念されたため、以上の方法で総日数の算定を行った。

日平均気温が 28.0 °C を超える初日と末日の日付、およ

び得られた初日・末日を含んだその間の総日数を先と同様に算出し、これらを各メッシュの酷暑期データとした。

以上の算定を、メッシュ平年値の生データ、期間 A, B, C による平年値 [10 年] のそれぞれについて行い、各期間による暑中期間を示すメッシュマップの作成を行った。なお、地図の作成には Arc GIS pro を使用した。

4. メッシュマップの作成

4.1 暑中期メッシュマップ

暑中期について作成したメッシュマップを図-5 に示す。平年値に対して期間 A, B, C に基づく地図はいずれも暑中期に該当する領域が拡大しているか、該当する期間が長期化していることが確認された。また、その傾向は東北、関東、北陸、山陰地方のような東日本ないし日本海側の領域で顕著であり、東海、関西、山陽、四国、九州地方といった太平洋側沿岸の地域では暑中期間の日数は高止まりの傾向にあることが確認された。一方、期間 A, B, C に基づく地図間での差異はわずかであるが、期間 B については期間 A, C に対して暑中期間の該当日数が若干短くなる傾向が認められた。また、期間 A, B, C のいずれについても図-1 に示す地図に対して暑中期に該当する日数を連続的に表示することが可能になった。

4.2 酷暑期メッシュマップ

酷暑期について作成したメッシュマップを図-6 に示

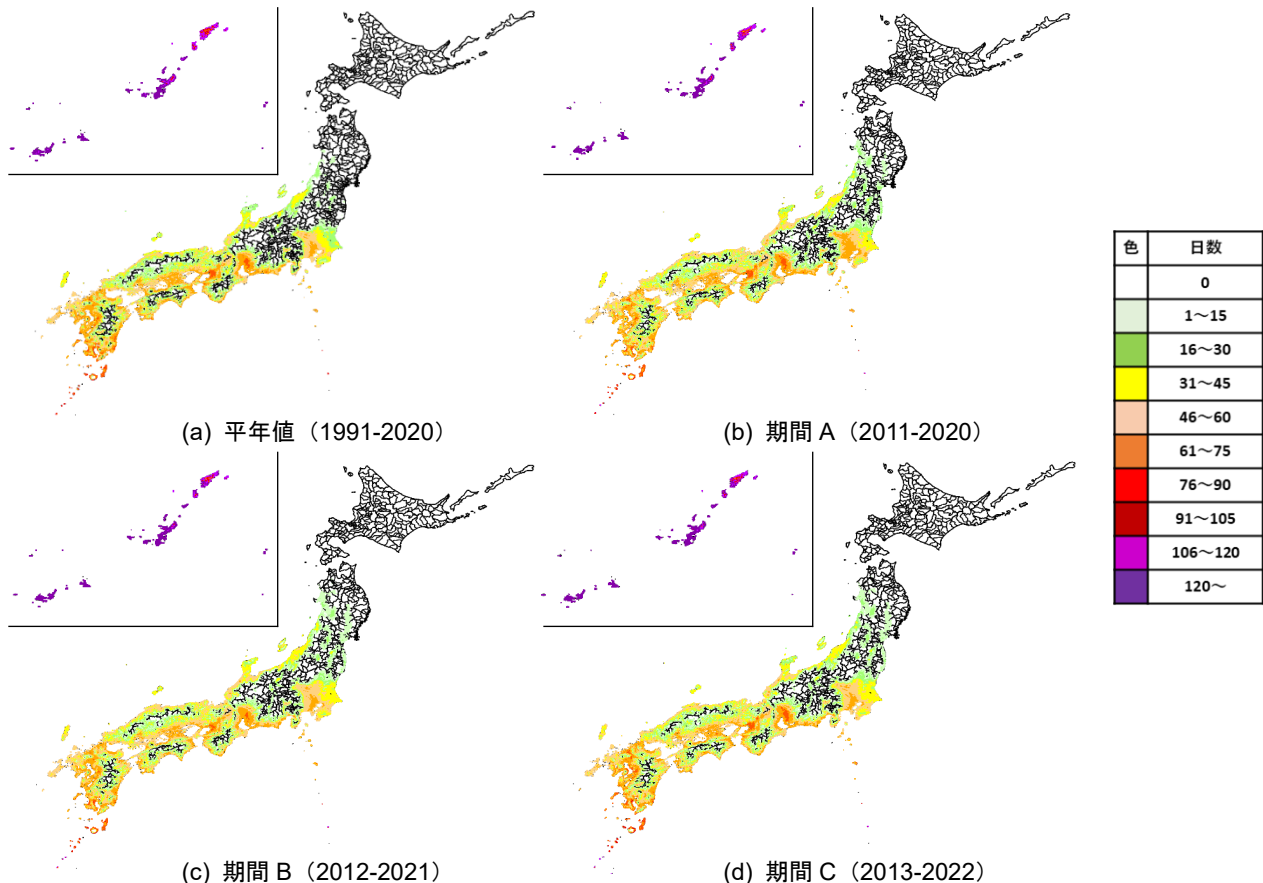


図-5 暑中期メッシュマップ

す。平年値に対して期間 A, B, C に基づく地図はいずれも酷暑期に該当する領域が拡大しているか、該当日数が延長されていることが確認された。また、その分布については暑中期に対して限定的であり、主に関東以南の太平洋側である。酷暑期のメッシュマップについても期間 A, B, C に基づく地図間での差異はわずかであり、統計期間による明確な違いを確認することはできなかった。酷暑期メッシュマップについても、暑中期メッシュマップと同様に、期間 A, B, C のいずれについても図-1 に示す地図に対して酷暑期に該当する日数を連続的に表示することが可能になった。

4.3 地図アプリケーション (Google Earth) との連携

今回提案した手法によって、GIS 上で作成した地図は一般的な地図アプリケーションと連携させることが可能である。ここでは、Google Earth を例として、GIS 上で作成したメッシュデータを連携させた様子を図-7 に示す。ここに示す仙台駅周辺の例では、数 km 以内の近隣範囲も詳細に暑中期間の変化を確認することができる。このように、地図アプリケーションとの連携により、任意の座標に対しても GIS に格納した詳細なデータを確認することが可能である。このようなシステムを活用することにより、施工計画段階において、より合理的な暑中対策の検討に寄与されると考えられる。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 1 km 四方に区切って重回帰分析によって推定された気象データを用いることで、日本の全域の暑中期間を示す面データを作成することができた。
- (2) 得られた面データを地理情報システムで地図として可視化することで、暑中期間や暑中コンクリート工事計画の合理化に寄与する可能性を示した。

6. 今後の展望

近年の気温上昇はより顕著になってきており、2023 年は全国各地で猛暑を観測した¹⁰⁾。図-8 はアメダス 915 地点に対して 2023 年における暑中期・酷暑期に該当した観測日数を示す。暑中期・酷暑期に該当した観測日数は、図-3 に対して大幅に増大しており、全国各地で暑中期間に該当することが確認される。特に北海道は指針

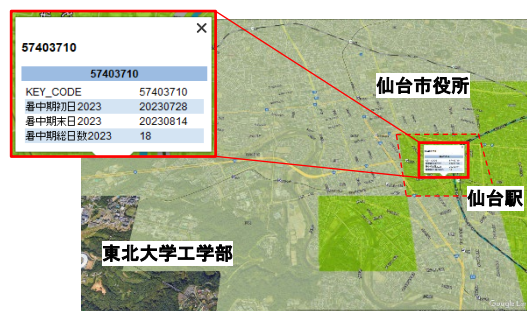


図-7 Google Earth との連携 (仙台駅周辺の例)

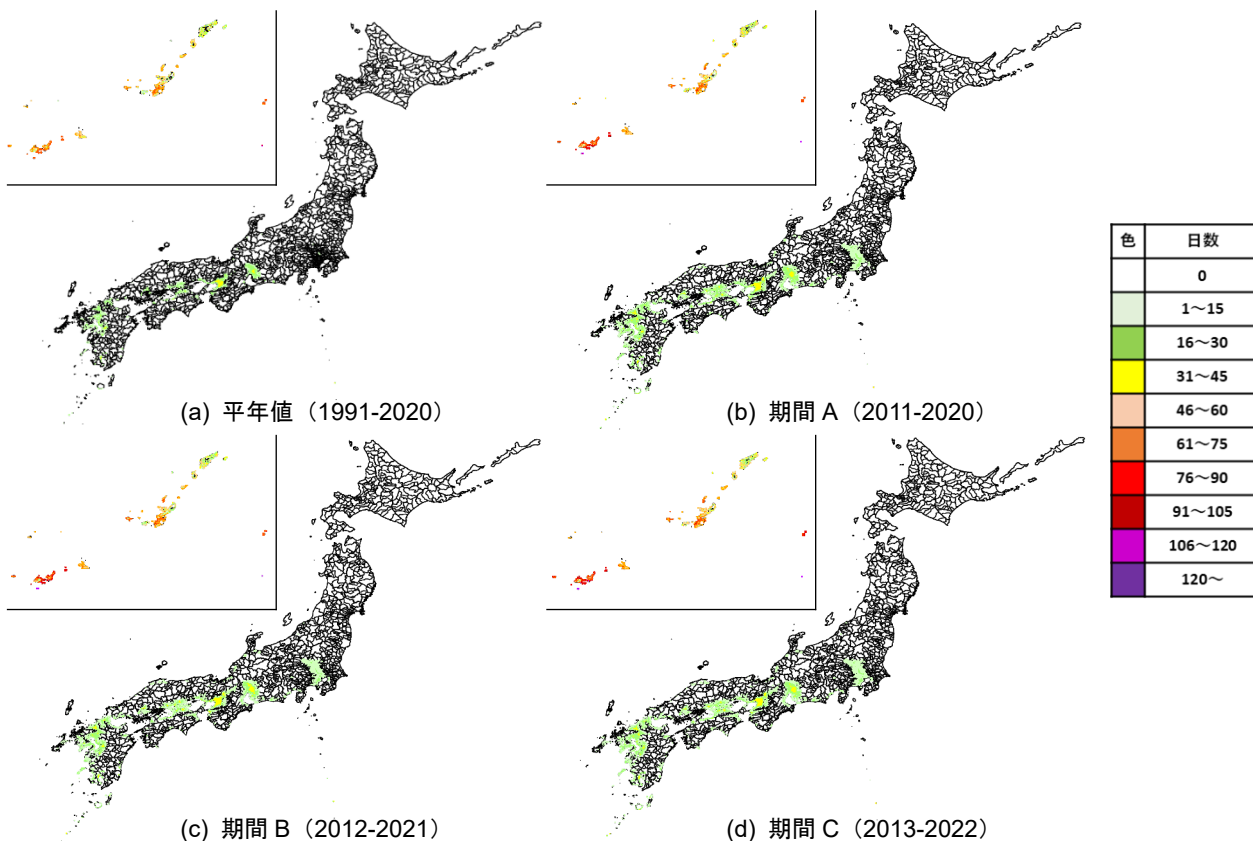


図-6 酷暑期メッシュマップ

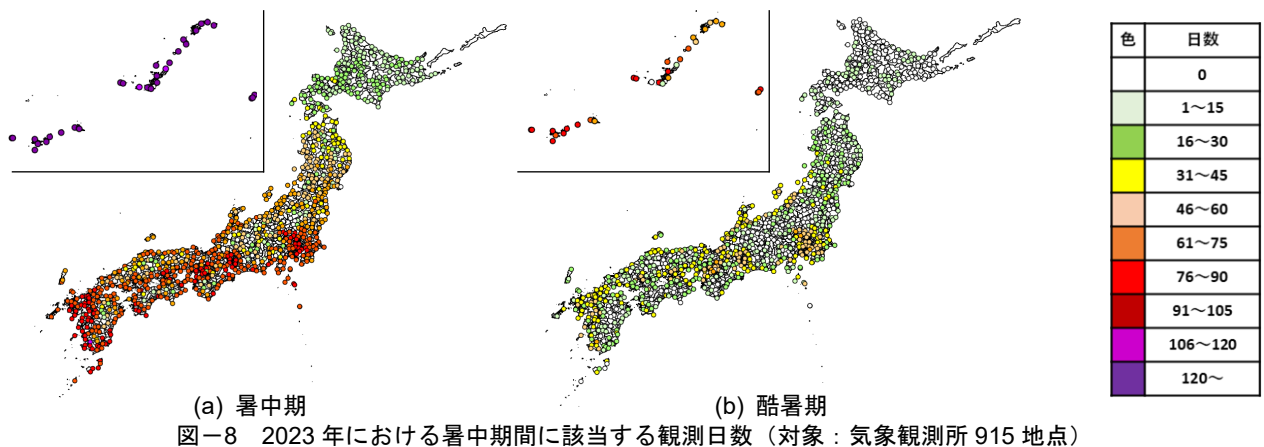


図-8 2023年における暑中期間に該当する観測日数（対象：気象観測所915地点）

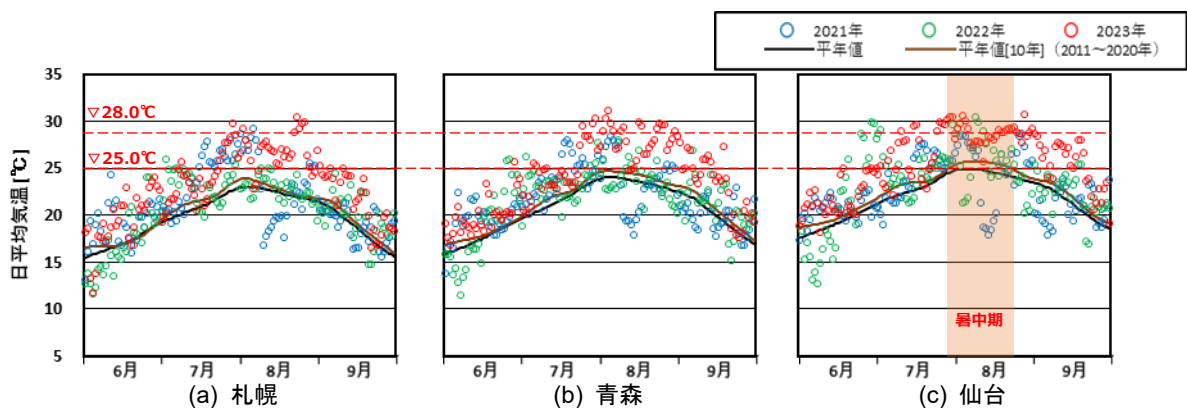


図-9 北日本の3地点における観測日平均気温

における適用期間に該当しないが、ほぼ全域で暑中期に該当する気温が観測され、都市部では酷暑期にも該当する地点も散見される。

図-9に北日本の主な都市における日気温と観測値を示す。日平均気温が暑中期の基準となる25.0℃を超える日数が1~2か月にわたって観測され、酷暑期の基準となる28.0℃を超える日数については年々増加傾向にあり、北日本においても暑中対策を看過できない環境になっていることが考えられる。

このように平年値[10年]による基準では暑中コンクリート工事があまり適用されない北日本において、実際の暑中環境を十分に追えていないことが課題として挙げられる。しかしながら、暑中環境におけるコンクリートは寒中環境におけるコンクリートに対して、相変化を伴わないことによる急激な品質低下が起こりにくく、暑中対策に生じるコストの観点から、安全側に寄りすぎた期間設定もまた非効率である。以上のバランスが取れた最適な期間設定が要求されているほか、適用期間にかかわらず、施工段階の気象条件に応じた対策も重要である。

暑中期間の設定がより合理的な算定方法を採用したとしても、実測データに基づいた設定である限り、本研究で作成したメッシュマップを作成することが可能である。今後は施工計画の段階で有用なメッシュマップの作成に向け、合理的な暑中期間の算定および暑中期間のデ

ータベース作成に関する検討を行う。

参考文献

- 1) 小山智幸, 小山田英弘, 伊藤是清: 暑中コンクリートの現状と対策, コンクリート工学, Vol.50, No.3, pp.239-244, 2012, DOI: 10.3151/COJ.50.239
- 2) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事, 2022.
- 3) 日本建築学会: 暑中コンクリートの施工指針・同解説, 2019.
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書[施工編], 2023.
- 5) 気象庁: メッシュ平年値 2020, CD-ROM, 2022.
- 6) 深瀬孝之, 谷口円, 濱幸雄: 寒中コンクリート工事に影響する気候特性に関する考察, 日本建築学会技術報告集, Vol.25, No.61, 1039-1044, 2019.
- 7) 高杉文也, 西脇智哉, 谷口円: 宮城県における寒中期間を詳細に示すメッシュマップの作成, コンクリート工学年次論文集, vol.45, No.1, 340-345, 2023.
- 8) 気象庁: メッシュ平年値 2020 解説, 2022.
- 9) 国土交通省, 国土数値情報ダウンロードサイト参照: <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/ksj.html> (閲覧日: 2024年3月6日)
- 10) 気象庁: 令和5年報道発表資料 夏(6~8月)の天候別紙, 2023.