

## 論文 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

高杉 文也\*1・西脇 智哉\*2・谷口 円\*3

**要旨:** 寒中環境で打ち込まれるコンクリートの品質は、打込み後の管理状態に大きく影響を受ける。寒中コンクリート工事に関する施工指針では、気象データの平年値から推計した寒中期間が例示されるが、実測値の得られる地点は偏在しており、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を用いて、宮城県を例として地理情報システムを用いたメッシュマップを作成し、寒中期間の可視化を試みた。宮城県内の代表位置での寒中期間は概ねの地点で一致もしくは安全側となる一方で、より長い期間が必要な地点もあることを詳細に示すことができ、メッシュマップの有用性を確認した。

**キーワード:** 寒中コンクリート, 寒中期間, 平年値, 気候特性, 積算温度, メッシュマップ

## 1. はじめに

寒中コンクリート工事には、用いる配(調)合とともに打込み後の管理が極めて重要な要素である<sup>1)</sup>。養生温度が低いとセメントの水和反応が遅延し、同一材齢と比較すると低温環境下にさらされたコンクリートは標準養生されたものと比較して強度が小さい。特に、硬化の初期段階に低温にさらされると、初期凍害を生じて所定の品質を得られない場合がある。そのため、寒冷期のコンクリート工事(以下、寒中コンクリート工事)では十分な強度発現と耐久性を担保するために、加熱養生や被覆養生といった適切な措置を施さなければならない。

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」(以下、JASS 5)では、寒中コンクリート工事を行ううえで、打込み日を含む旬の日平均気温が4℃以下の期間、あるいはコンクリートの打込み後91日までの積算温度が840°D・D未満となる期間のいずれかに該当する期間を、寒中コンクリート工事の適用期間(以下、寒中期間)として定めている<sup>2)3)</sup>。また、土木学会「コンクリート標準示方書[施工編]」(以下、標準示方書)では、日平均気温が4℃以下になる期間を寒中期間としている<sup>4)</sup>。これらの寒中期間は、実際に施工を行う位置での気象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(宮城県の場合は仙台市・石巻市の2か所)を挙げて、寒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。そのため、各現場の気象条件に応じて施工計画を検討することが必要である一方で、JASS 5で

例示された期間をそのまま適用し、不具合等が発生させてしまうことも懸念される。これらの背景を踏まえて、全国各地を網羅するより詳細に寒中期間を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<sup>5)</sup>。

そこで本報では、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<sup>6)</sup>を用いて、寒中コンクリート工事に影響する気象特性を示すメッシュマップを、寒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。ここでは、宮城県を一例として取り上げ、今後日本全国を網羅するメッシュマップを作成するための基盤とする。

## 2. 寒冷期におけるコンクリート工事

## 2.1 寒中コンクリート工事の適用期間(寒中期間)

JASS 5では、先述のとおり次の2つのいずれかを満たす期間を寒中期間として定めている<sup>2)</sup>。

- 1) 打込み日を含む旬の日平均気温が4℃以下の期間
- 2) コンクリートの打込み後91日までの積算温度が840°D・D未満となる期間

なお、積算温度は以下の式(1)で計算される。

$$M_{91} = \sum_{n=1}^{91} (\theta_n + 10) [^{\circ}\text{D} \cdot \text{D}] \quad (1)$$

ただし、 $\theta_n$ : 日平均気温 ( $\geq -10$  [°C])

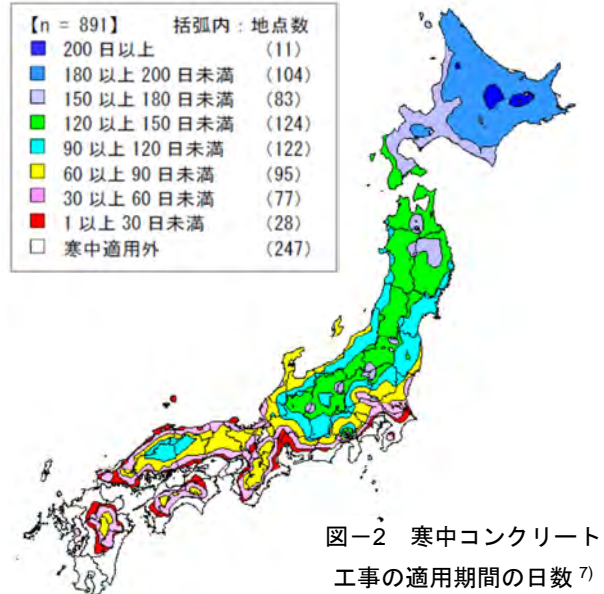
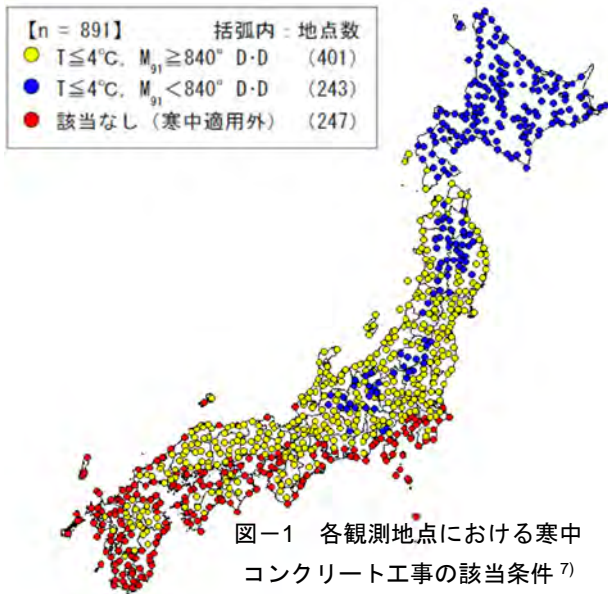
1) では初期凍害を防止し劣化に対する水密性や抵抗性を持たせることを目的としている。一方、2) では強度増進の遅延を防止することを目的としている。

標準示方書では、日平均気温が4℃以下になる期間を

\*1 東北大学大学院院生 工学研究科都市・建築学専攻(学生会員)

\*2 東北大学准教授 工学部建築・社会環境工学科 工博(正会員)

\*3 (地独) 北海道立総合研究機構本部研究戦略部連携広報グループ研究主幹・博士(工学)(正会員)



寒中期間としている。これは建築学会における寒中期間の条件1)にあたり、初期凍害防止を目的としている。

建築、土木のいずれの寒中期間も初期凍害に対する懸念が大きい。これは、現場では仮設足場設置や供用の開始といった早期に荷重を受ける場合があるため、ひび割れや残留変形等を生じさせないようにする目的がある。

## 2.2 寒中コンクリート工事の適用期間とその地域

深瀬ら<sup>7)</sup>は、日本全国のアメダス 891 地点における寒中コンクリート工事の該当条件を図-1 のようにまとめている。日平均気温が  $4^{\circ}\text{C}$  以下のみに該当する地点は 401 箇所、積算温度が  $840^{\circ}\text{D}\cdot\text{D}$  未満のみに該当する地点は 0 箇所、両者にも該当する地点は 243 箇所である。以上のいずれにも該当しない地点は 247 箇所あり、これらは寒中コンクリート工事の適用外である。寒中期間に該当する地域は北海道から九州にかけて広く分布しており、特に北海道、東北地方内陸部および中央高地は寒中期間の適用期間も長いことがわかる。これらの結果から、図-2 のように日本全国に対して寒中期間の分布を色分けしているが、具体的な座標データを併せて示すものではない。したがって、図-2 では各境界線は色分けの異なる観測所間を等分するように示されているものの、実際には線引きが異なる場合や、示す寒中期間がより長くなる地域の存在も考えられる。

日本建築学会「寒中コンクリート施工指針・同解説」(以下、寒中指針)では主要都市の寒中期間が示されているが、いずれも各都道府県の全体を網羅するものではない。例えば宮城県は、仙台市と石巻市の2か所が示されているが、仙台市は太平洋沿岸から山形県境まで東西に広く位置しており、石巻市は沿岸地域が多くを占めている。そのため、宮城県全体の代表値として寒中期間を設定するものではなく、山間地域では仙台市・石巻市の

いずれも参考にするのは難しいと考えられる。また、寒中指針で取り上げられている各都市は、それぞれの都道府県のなかでも都市規模が大きく、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。気象台やアメダスのような観測所によるデータは全国各地に遍在しているものの、点データであり、それ以外の地域への網羅性に欠けると言える。

## 3. 検討概要

### 3.1 気象データ

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<sup>8)</sup>。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る。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。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アメダスの平年値、緯度・経度、標高、勾配といった地形因子や、人工被覆率(都市因子)との統計的関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。地形因子や都市因子を求めるために、標高・傾斜度3次メッシュデータ(平成23年度版)および土地利用3次メッシュデータ(平成26年度版)が使用されている。なお、データは1991年から2020年までの平年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、まず観測所の日平均気温、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<sup>8)</sup>。次に、日本国内を図-3 に示すように北日

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。

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。図-4に示すように、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。宮城県におけるメッシュマップを作成するにあたって、図-4に示す1次メッシュでの5640, 5641, 5740, 5741, 5840, 5841のメッシュコードにあたるデータを使用した。

### 3.2 対象地域

本報では宮城県を対象に寒中期間メッシュマップを作成する。宮城県について、JASS5および寒中指針では、仙台と石巻の2都市のみについて寒中期間が示されている。前述のように2都市から離れた自治体や仙台市内の気象台から離れた地域における寒中期間は不明瞭であると考えられる。そこで、寒中指針で示されている既存の寒中期間データを用いて、アメダス観測点以外の仙台市内の地域についてどの程度類推可能であるかを確認することを目的とする。

### 3.3 解析手順

本報では、メッシュ平年値2020の気象データに基づいて、以下の手順に従って寒中期間の算定を進めた。

まず、日平均気温が4℃以下となる初日と末日の日付を探し出し、初日を含む旬の初日および末日を含む旬の末日を算出した。また、得られた初日・末日の差から、その期間の総日数を算出した。

続いて、各メッシュについてその日から91日後の積算温度を算出した。なお、算出には以下の式(2)を用いた。

$$M_{\theta_{91}} = 0.5 \cdot (\theta_1 + 10) + \sum_{n=2}^{90} (\theta_n + 10) + 0.5 \cdot (\theta_{91} + 10) \quad (2)$$

ただし、 $\theta_n$ ：日平均気温

91日後の積算温度の計算にあたって、初日と91日後は半日分の温度を獲得したと仮定した。この積算温度について、 $840^\circ\text{D} \cdot \text{D}$ を下回る期間を算出し、その初日、末日および総日数を算出した。

最後に、以上の2条件を統合した各メッシュにおける寒中期間を算出した。同様に期間の初日、末日および総日数を算出した。

### 3.4 メッシュマップの作成

3.3.で得られた日平均気温が4℃以下となる期間、積算温度が $840^\circ\text{D} \cdot \text{D}$ 以下となる期間、および、これらを統



図-3 重回帰分析の領域

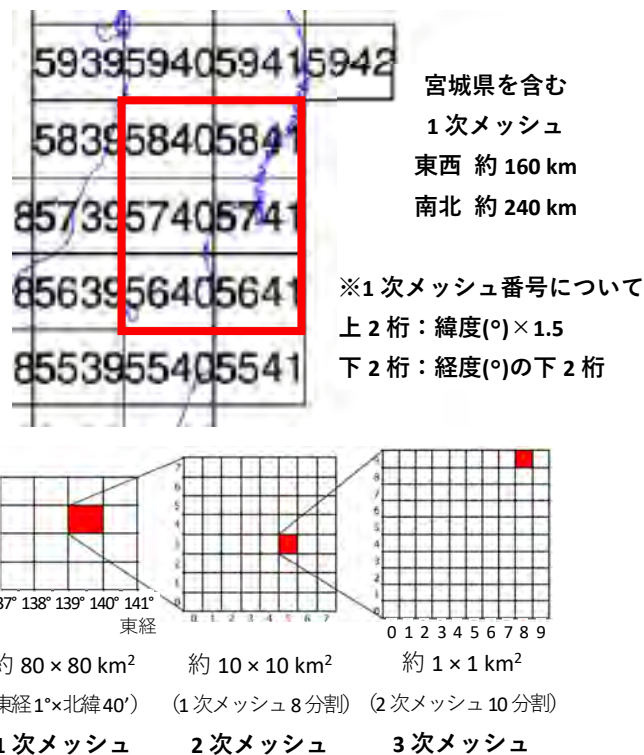


図-4 メッシュマップ作成の対象範囲

合した寒中期間の総日数の3種の面データについて、宮城県のメッシュマップを作成した。作成には Arc GIS pro を使用した。

## 4. 寒中期間メッシュマップ

作成した寒中期間メッシュマップを図-5~7に示す。なお、各図中の赤い丸は観測所の位置を示している。寒中期間の長さに応じて、概ね30日ごとに色分けを行った。宮城県の気象台およびアメダスの設置箇所・所在地

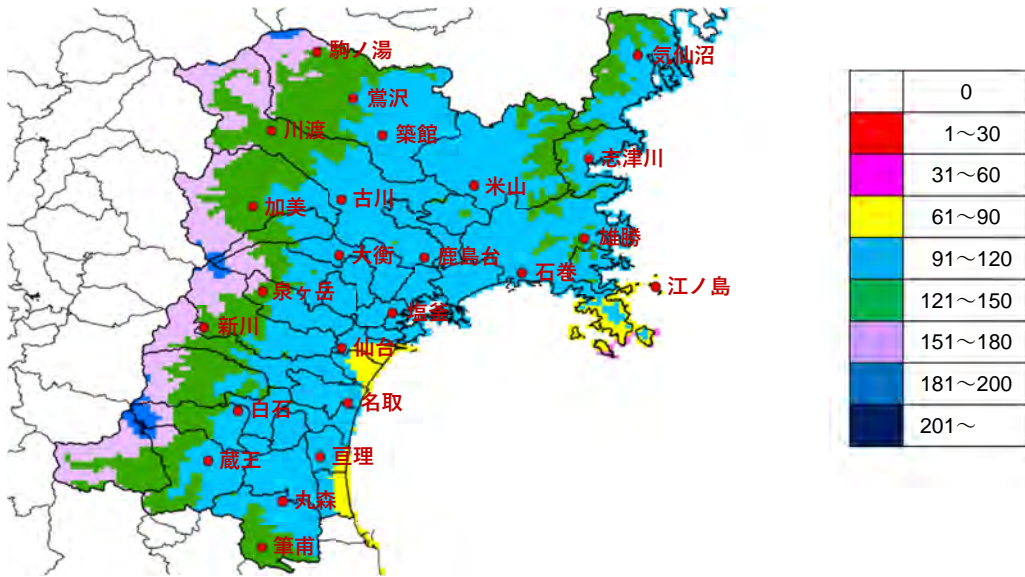


図-5 日平均気温が4℃以下になる期間の日数

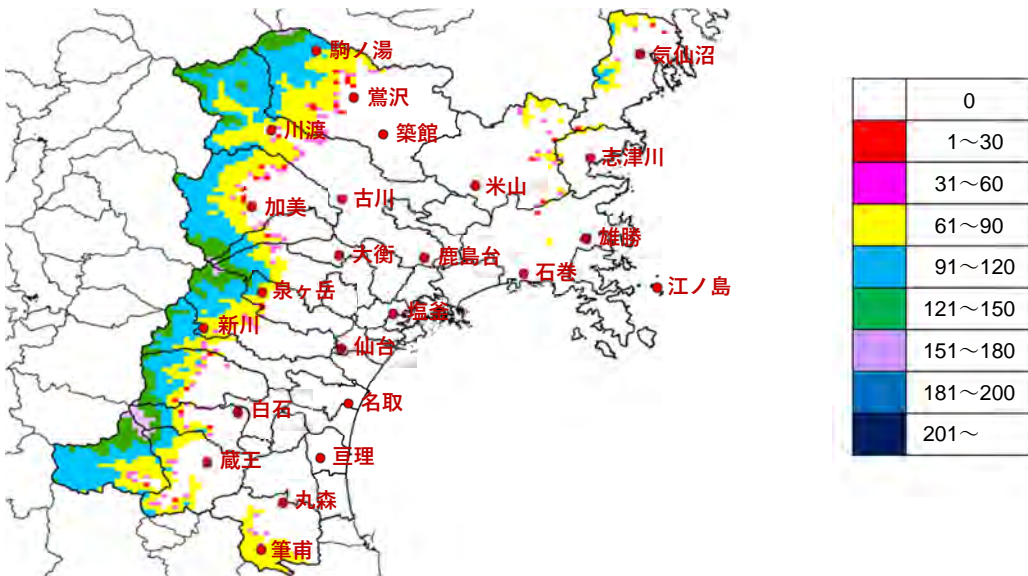


図-6 積算温度が840 °D・D未滿になる期間の日数

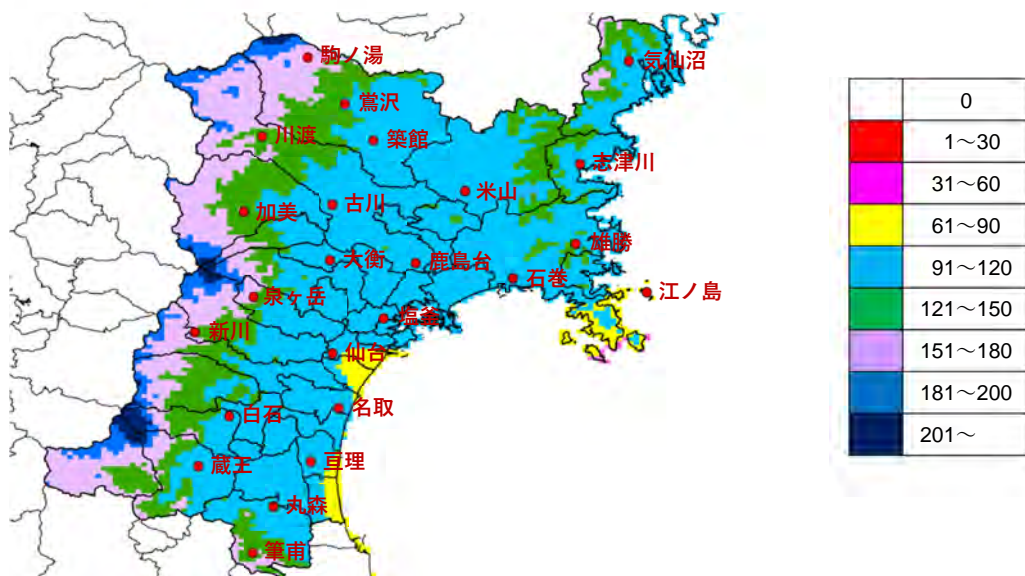


図-7 寒中期間の日数

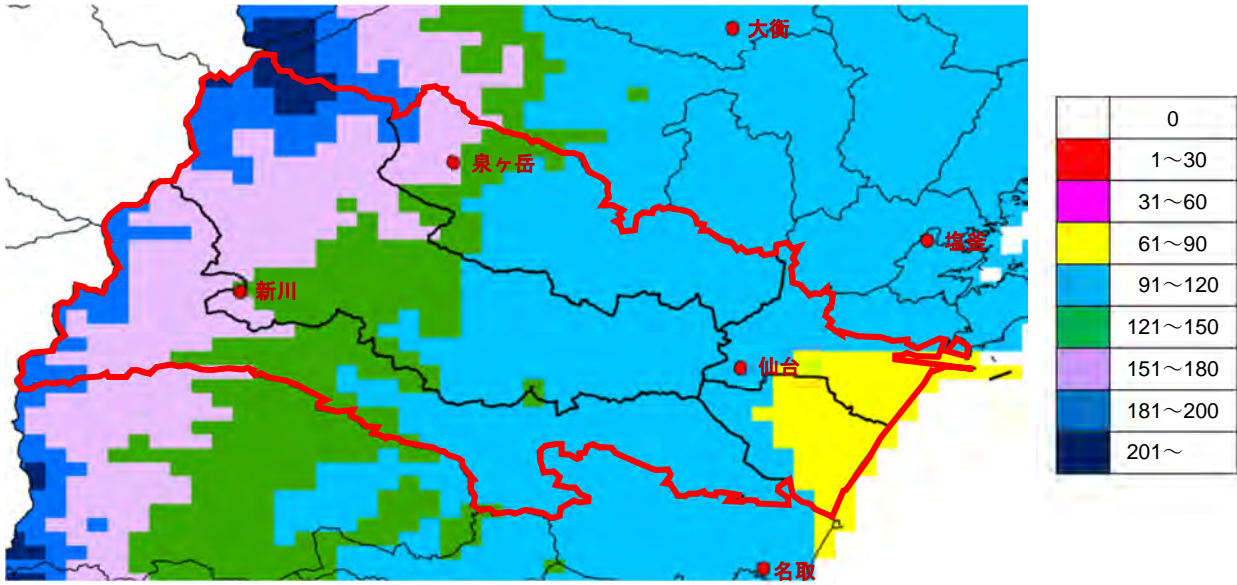


図-8 寒中期間の日数（仙台市詳細）

の一覧と、仙台、石巻については寒中指針における寒中期間とその日数を表-1に示す。

#### 4.1 日平均気温が4℃以下となる期間

図-5に、日平均気温が4℃以下になる期間を示す。宮城県の多くの地域は91日以上期間、4℃以下に曝されることがわかる。したがって、3か月以上は初期凍害防止対策を行う必要があることが確認された。気象台のある地域周辺における寒中期間の日数は寒中指針と比較すると、仙台（メッシュ番号：57403711）では91日、石巻（メッシュ番号：57415213）では101日と、指針と同程度、あるいはより短くなることを示している。しかし、それより長い寒中期間を示す地域に囲まれる観測所が6地点（駒ノ湯、川渡、加美、泉ヶ岳、新川、筆甫）確認される。例えば、同じ仙台市にあるアメダスの新川周辺の地域（メッシュ番号：57403560）では132日間、泉ヶ岳周辺の地域（メッシュ番号：57404587）では176日間と、指針に示される仙台の寒中期間（91日間）よりも長くなっていることがわかる。

#### 4.2 積算温度 $M_{91}$ が $840^{\circ}\text{D}\cdot\text{D}$ 未満となる期間

図-6に積算温度  $M_{91}$  が  $840^{\circ}\text{D}\cdot\text{D}$  未満になる期間を示す。このような期間がある地域は、宮城県では山あいの地域にのみ分布していることが確認され、5地点の観測所（駒ノ湯、川渡、泉ヶ岳、新川、筆甫）がその地域に囲まれている。したがって、指針に示す仙台や石巻では積算温度  $M_{91}$  が  $840^{\circ}\text{D}\cdot\text{D}$  を下回ることにはなかった。県内市街地の広い範囲では考慮する心配はないものの、山あいの地域では積算温度  $M_{91}$  が  $840^{\circ}\text{D}\cdot\text{D}$  を下回る場合があり、施工計画時には、継続養生等の検討を行う必要があることが示唆された。

#### 4.3 寒中期間

図-7に、2つの条件を統合した寒中期間について示す。積算温度によるメッシュマップから、ほとんどの地域では日平均気温が4℃以下となる期間と同じ期間にな

表-1 宮城県の気象台・アメダスの設置箇所

地点名	所在地	寒中期間	日数
駒ノ湯	栗原市栗駒沼倉耕英南		
気仙沼	気仙沼市館山		
鶯沢	栗原市鶯沢袋宮林		
川渡	大崎市鳴子温泉字蓬田		
築館	栗原市築館左足下		
米山	登米市米山町西野字的場		
志津川	本吉郡南三陸町志津川字城場		
加美	加美郡加美町味ヶ袋薬菜原		
古川	大崎市古川大崎字富国		
雄勝	石巻市雄勝町雄勝字寺		
泉ヶ岳	仙台市泉区福岡岳山		
大衡	黒川郡大衡村松の平		
鹿島台	大崎市鹿島台広長字内の浦		
石巻	石巻市泉町	12/1~ 3/20	111
新川	仙台市青葉区新川字清水尻		
塩釜	塩竈市伊保石		
江ノ島	牡鹿郡女川町江島字荒藪		
仙台	仙台市宮城野区五輪	12/11~ 3/10	91
名取	名取市下増田字南原		
白石	白石市福岡長袋字湯殿山		
蔵王	刈田郡蔵王町大字平沢字内屋敷		
亘理	亘理郡亘理町字油田		
丸森	伊具郡丸森町館矢間館山字新賢中		
筆甫	伊具郡丸森町筆甫字和田		

っていることがわかる。一方で、積算温度が  $840^{\circ}\text{D}\cdot\text{D}$  未満に該当する期間をもつ地域では寒中期間がより長くなる傾向が見られた。

寒中指針に示された仙台および石巻の寒中期間と比較すると、宮城県は概ねそれらの寒中期間と同程度であると言えることが示された。一方、山あいの地域ではこれよりも 30 日以上長くなってしまふ地点もあるため、そのような施工現場では初期凍害防止に向けた施策の必要が考えられる。観測所をベースに考えると、6 箇所(駒ノ湯, 川渡, 加美, 泉ヶ岳, 新川, 筆甫)の周辺地域が該当する。

図-8 に、仙台市を対象とした寒中期間マップを示す。この図から、西部の山間部では仙台の寒中期間よりも長くなる地域の存在が確認できる。このように、寒中工事の適用について、自治体の境界よりも気象データによる判定を行うことで品質の確保が可能になると考えられる。

## 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、全域の寒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、寒中期間や寒中コンクリート工事計画の合理化に寄与する可能性について示した。

## 6. 今後の展望

平均気温の平年値の変化が寒中期間の長さに影響を与えていることがわかっている<sup>9)</sup>。1961~1990 年, 1971~2000 年, 1981~2010 年の順に日平均気温の平年値が上昇傾向にあり、特に東北以南では寒中期間が短くなった地域が見られた。したがって現指針の寒中期間は安全側になっているが、全域が寒中期間を満たしているとは

限らない。平年値の変化に伴う寒中期間についても面データによるメッシュマップが合理的な工事計画に寄与できると考えられる。

また、寒中期間の面データと面データを地図に表示するツールを活用することで、寒中期間の判定の合理化を達成したが、展望として地図アプリと位置情報サービスをと連携することで、寒中期間の判定を簡便化の可能性が示唆された。今後はその基盤として面データのデータベースを作成し、メッシュマップの拡張を進める。

## 参考文献

- 1) 長島弘：寒中コンクリート，コンクリート工学，Vol.14, No.11, 38-45, 1976. 11
- 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. 11
- 3) 日本建築学会：寒中コンクリート施工指針・同解説，2010.1
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書 [施工編]，2018. 3
- 5) 深瀬孝之，谷口円，濱幸雄：生コンクリート製造者と施工者を対象とした寒中コンクリート工事に関するアンケート調査，日本建築学会技術報告集，Vol.25, No.60, 591-596, 2019. 6
- 6) 気象庁：メッシュ平年値 2020，CD-ROM，2022. 3
- 7) 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. 10
- 8) 気象庁：メッシュ平年値 2020 解説，2022. 3
- 9) 長谷川拓哉，濱幸雄，長谷川壽夫，桂修，谷口円，深瀬孝之：気温の平年値の変化が寒中コンクリート工事の適用期間・積算温度に及ぼす影響，日本建築学会技術報告集，Vol.18, No.38, 25-29, 2012. 2