

平成 30 年度

三重大学大学院 生物資源学研究科

修士論文

日本周辺の海水温分布がもたらす  
気温前日差の気候学的地域性

Climatological regionality of day-to-day change of daily temperature  
due to SST distribution around Japan

*Weather and Climate Dynamics Division*

*Graduate school of Bioresources*

*Mie University*

517M208

Yohei Seki

*Supervisor:* Prof. Yoshihiro Tachibana

## 概要

日最高気温及び日最低気温の急激に変化した前日差の気候学的季節性・地域性を調べるために、気温急変指数をそれぞれ作成した。気候学的に最高気温前日差が急激に変化する地域は、春の中部地方北部、三陸沿岸、北海道東部などが挙げられた。最高気温前日差が大きい季節・地域の特徴として、フェーン現象による昇温、地表面からの非断熱加熱、海陸の温度コントラストが大きいことが挙げられた。そのうち、海陸の温度コントラストが北海道のローカルな要因か、実際に海陸の温度コントラストが効いているかを調べるために、世界の観測データである GHCND データによる統計的検証及び、領域気象モデルによる数値実験による検証を行った。その結果、海陸の温度コントラストは沿岸域に近いほど前日差に寄与しており、大気だけではなく、海の重要性を示した。

次に、気候学的に最低気温前日差が急激に変化する地域は、冬の北海道が顕著であった。その気候学的形成要因としては、気候学的に寒いことが重要であることが示された。

## 目次

I. はじめに	4
II. データと手法	5
1. 使用データ	
2. 気温急変指数の定義	
3. 海陸温度コントラスト	
4. モデルの設定	
III. 最高気温前日差	9
1. 最高気温前日差の季節性・地域性	
2. 最高気温前日差と海陸温度コントラスト	
2-1. 北海道周辺の海面水温	
2-2. 世界に対する日本の位置づけ	
2-3. 数値実験による検証	
IV. 最低気温前日差	14
1. 最低気温前日差の季節性・地域性	
2. 最低気温前日差と低温	
V. まとめ	16
VI. 謝辞	18
VII. 文献	18
VIII. 図	21

## I. はじめに

2017年に気象ビジネス推進コンソーシアムが設立され、国を挙げて気象データを産業活動などに利活用する動きが進んでいる。これまで気象データはビッグデータでありながら、利活用している企業が少ないことが問題であった。その中でも、いくつかの民間気象会社では気象データを用い、商品の需要予測などのニーズの最適化を行って協業している。その際に使われる気象要素として、気温や湿度、日射量、降水量、風速などの他に、気温の日較差、前日差、平年差などの相対的な指標も用いられている。これらの気象要素のうち、気温の前日差についての気候学的特徴を調べた文献はない。その一方、同じ気温差でも、日較差や年較差の気候学については一般教養として学ぶ(気候区分や雨温図などを通して)。前日差は天気予報などでも用いられ、暑い寒いといった相対的感覚をわかりやすく理解する指標として広く知られている。常盤(2012)では体感温度の変化に伴って売り上げが変わる商品が数多くあることを示している。このことから、前日差の気候学的理解は、商品の需要予測という経済的観点から精度向上のため必要な基礎研究となるであろう。

Fujibe et al. (2018)では同じ気温でも前日との気温差によって熱中症による死亡リスクが変化することを示している。また、気温差が大きいと寒暖差アレルギー(正式名称:血管性運動性鼻炎)などを引き起こすリスクが高まることも考えられるため、前日差の気候学的分布の理解は健康面においても重要である。

気温の前日差と似た指標として、気温の月内標準偏差(日々変動幅)がある。平均気温の温暖化がほぼ確実視される中で、日々の気温の変動がどう変化していくかは興味深いテーマの一つ

であり、気温の月内標準偏差の長期トレンドを調べた研究例は数多く存在する (Fujibe et al., 2007; Griffiths et al., 2005)。しかし、この気温の月内標準偏差が大きいことは1日ごとの気温の変化量が必ずしも大きいことを説明できない。極端な例を示すと、その月内の日々の気温の時系列が大きなサインカーブを描いても月内標準偏差は大きくなる可能性がある。それに対して、気温の前日差は1日ごとの気温の変化量を必ず見ることができ、前述したとおり、経済面、健康面ともに1日ごとの気温変化は重要であると考えられる。そのため、気温の前日差がどのような気候学的分布をしていて、この指標が将来どのように変化するのか、しないのかもまた興味深いテーマである。

本研究では、1日ごとの気温変化の長期トレンドの理解の基礎研究として、日本全国における日最高気温及び日最低気温のそれぞれの前日差に着目し、季節性、地域性を気候学的に理解すること、また、それらの気候学的形成要因を探ることを目的とする。

データと手法をII章で、日最高気温の前日差の結果をIII章で、日最低気温の前日差の結果をIV章で、まとめをV章で記す。

## II. データと手法

### 1. 使用データ

使用するデータは気象官署のデータ及び、AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System) のデータを用いる。その内、気温を観測している地点で、解析期間が1986年から2015年までの30年間のうち、8割以上データ日数がある818地点で解析を行った。上記の地点において、日データとして、日最高気温データと日平均相対湿度 (観測している一部地点) を、一時

間ごとのデータとして、気温データを用いる。本研究では日最低気温は 13 時から翌日 12 時までの一時間ごとの気温の最低値とする。その理由は、気象庁が提供する日最低気温データの日界は 24 時であり、前日差と示しているのに 1 時間の差を抽出してしまう可能性が高いためである。

次に、前日差の気候学的形成要因が日本のみのローカルな話なのか世界でもいえるのかを確かめるために世界の観測データを用いる。世界の日最高気温、日最低気温の観測データとして Global Historical Climatology Network-Daily (Menne et al., 2012; 以降, GHCND) を用いる。GHCND データには以下の方法でフィルタリングを施した。

- (1)1986~2015 年まですべての年で少なくともデータがある
- (2)気温のデータが明らかにおかしい場合は欠損値とみなす
- (3)全期間のうち 8 割以上のデータがある
- (4)日本及びの地点を除く（日本のデータは気象官署及び AMeDAS のデータを用いるため）
- (5)南半球の地点を除く（計算速度の向上および結果の解釈を容易にするため）

このフィルタリングの結果、日最高気温は 5721 地点、日最低気温は 5351 地点となった。

また、日平均海面水温として、水平解像度 0.25 度×0.25 度の Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (Reynolds et al., 2002; 以降, OISST) 再解析データを使用する。

## 2. 気温急変指数の定義

ある日の前日差を次のような式で示す。

$$\Delta T_{day} = TMP_{day} - TMP_{day-1} \quad (1)$$

次に、前日差を気候学的に評価するために以下に示す手順で気温急上昇指数と気温急低下指数の二つの指数を定めた。

(1)各地点で前日差の各月毎の 90 パーセンタイル値を求める。

(2)90 パーセンタイル値以上の前日差を条件として標準偏差の計算を行ったものを気温急上昇指数とする。

$$\text{気温急上昇指数} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{\text{day}=1}^{\text{day\_end}} (\Delta T_{\text{day}} - \overline{\Delta T})^2} \quad (\Delta T_{\text{day}} - \overline{\Delta T} \geq 90\text{percentile}) \quad (2)$$

ここで、N は各年各月における条件に当てはまった数、day\_end は各月の最終日、 $\overline{\Delta T}$  は各月毎の前日差の 30 年平均を示す。同様に、10 パーセンタイル値を求め、その値以下の前日差を条件として計算したものを気温急低下指数とする。

$$\text{気温急低下指数} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{\text{day}=1}^{\text{day\_end}} (\Delta T_{\text{day}} - \overline{\Delta T})^2} \quad (\Delta T_{\text{day}} - \overline{\Delta T} \leq 10\text{percentile}) \quad (3)$$

これらの指数の値が大きいくほど、10%の確率で起こる急変時の気温前日差の変化量が大きいくことを示す。これらの処理を最高気温前日差、最低気温前日差でそれぞれ行い、それぞれ最高気温急上昇（低下）指数及び、最低気温急上昇（低下）指数と呼び、急上昇と急低下の両者を指すときは急変と本論文では呼ぶことにする。なお、急上昇事例、急低下事例をそれぞれ個別に検出し

ているため、急上昇した次の日に気温がもとに戻るような場合においても急低下日としてカウントされる場合もある。また、10%という閾値は気温の急激な変化に限定するためのものだが、本研究で示す結果は、閾値に対して大きく手法依存しないことは確認済みである。

### 3. 海陸の温度コントラスト

海陸の温度コントラストを測る指標として、各観測地点の日最高気温とその観測地点から最も近い日平均海面水温のグリッドポイントの値の差を用い、本研究では、これらの距離を陸から海までの距離とする。

$$\text{海陸温度コントラスト} = T_{\text{max}}(\text{land}) - \text{SST}(\text{sea}) \quad (4)$$

一例としてこの指数を用いて5月の気候値を示す(図1)。オホーツク海側や三陸沿岸で海陸温度コントラストが大きいことがわかる。また、黒潮沿いの沿岸域では海陸温度コントラストは小さい。内陸ほど海の影響が弱いことから沿岸域でより大きな意味を持つ指標となる。

いくつかの地点では、同距離のグリッドポイントが存在したが、全体の母数に対して多くないため、本研究では無視する。

### 4. モデルの設定

最高気温前日差の形成要因の確認のため、領域気象モデルである WRFver.4.0 (Weather Research and Forecasting) を使用した。計算期間は 北海道オホーツク海側に位置する紋別で

前日差 -19.8 度を記録した期間を含む 1998 年 5 月 4 日 03 時～8 日 09 時（日本時間）とし、大気場の初期値・境界値として水平格子間隔 0.75 度の ERA-interim (Simmons et al., 2007) を、海面水温の初期値境界値としては OISST のそれぞれ 6 時間毎のデータを用いた。計算領域は北海道を中心とした図 2 の外枠の範囲と赤枠で囲われた範囲でそれぞれ 15km と 5km の水平格子間隔で計算を行った。本研究では、現実の場を再現した実験 (CTL\_RUN) と図 2 の赤枠内で海面水温を 6°C 上昇させた実験 (SST+6°C\_RUN) の 2 つの実験を比較し、オホーツク海が冷たいことによって前日差が大きくなるかを検証する。

### III. 最高気温前日差

#### 1. 最高気温前日差の季節性・地域性

日最高気温の急激な前日差の季節性を評価するために、各地点、各月毎に最高気温急上昇指数と最高気温急低下指数の気候値を求めた。その後、全国の地点で平均し、各月毎に比較した (図 3)。二つの指数ともに、4 月に最大値を示し、8 月に最小値を示した。最高気温急低下指数のほうが最高気温急上昇指数よりも値が大きいことがわかる。11 月は最高気温急低下指数の値と最高気温急上昇指数の値の差が大きくなっている。

次に、地域性を評価するために、各月毎に最高気温急低下指数と最高気温急上昇指数の気候値を用いて、最高気温急上昇マップと最高気温急低下マップを作成した (図 4, 5)。4 月には中部地方の北部、三陸沿岸など多くの地点で最高気温急変指数の極大値を示す。ただし、北海道東部の多くの地点では 5 月にピークを示した。一方、北海道、東北地方を除いた太平洋側の沿岸部では、比較的、最高気温急変指数の値が小さいことがわかる。他にも値が小さい地域として、瀬戸

内海に面した地域や沖縄などの海に囲まれた島では値が小さい。

急変指数の値が大きい地域の共通点の一つとして、中部地方の北部や北海道オホーツク海側はフェーン現象がしばしば発生していることがわかっている (Mori and Sato, 2014; Ishizaki and Takayabu, 2009)。また、春は日射量が多く、地面からの非断熱加熱も大きい。最近の研究では、フェーン現象と地面からの非断熱加熱の複合要因が高温イベントを形成していることが多く報告されている (Mori and Sato, 2014; Takane and Kusaka, 2011; Takane et al., 2017)。

これらのことからフェーン現象及び、地面からの非断熱加熱がこれらの地域性を形成しているようにも見えるがそれだけでは説明がつかない。図 6 はそれぞれの地点において最高気温前日差が急上昇した日を抽出し、それらの抽出日で平均し、気候値を引いた日最高気温偏差の合成図である。4, 5 月においては内陸側も高温偏差は大きい。日本海沿岸や三陸沿岸、北海道オホーツク海側などにおいても顕著な高温偏差が確認できることから、フェーン現象が発生している地域に近い可能性がある。図 6 だけ見ると、最高気温急変マップは中部地方北部なら 3 月に北海道なら 4 月に顕著になりそうであるが、実際は異なる (図 4, 5)。その理由としては前日の低温偏差に違いがあるためである (図 7)。偏差の絶対値としては急上昇する際の振れ幅のほうが前日の振れ幅より大きい。逆に、急低下する日とその前日のそれぞれの合成図においても、前日の高温偏差のほうが当日の低温偏差よりも大きい (図 8, 9)。これは日最高気温の特徴として理解する必要があり、昇温現象がメインであることを示唆している。高温偏差をもたらす現象としては前述したとおり多くの研究がなされてきているため、低温偏差をもたらす要因を探ることが前日差の地域性の形成要因の理解の向上につながると考えられる。そこで、急変指数の値

が5月を中心に顕著だった北海道に着目し、その後、それらの現象が北海道のみのローカルな話かどうかを検討していく。

## 2. 最高気温前日差と海陸温度コントラスト

### 2-1. 北海道周辺の海面水温

図10は5月の北海道のそれぞれのアメダス地点の日最高気温とその周囲の海面水温のそれぞれ気候値を表す。日最高気温と海面水温を同じカラスケールで表しているため、陸上の日最高気温と海面水温に大きな温度差があることがわかる。さらに北海道の東西の差に着目すると、北海道の西側には対馬暖流が、東側には冷たいオホーツク海及び寒流である親潮が流れており、西側と東側でさえ海面水温の差は大きい場所で6°C程度異なる。定量的に示した図1を再び見ると、北海道オホーツク海側を中心に日本の中で最も顕著な海陸温度コントラストがあることがわかる。これらの海陸温度コントラストが、風向の変化に伴って、陸上の地点の気温を急激に冷やす要因と考えられる。海陸の温度コントラストの季節変化としても5月が最大であり(図11)、急変指数のピーク、昇温前日の冷え込みのピークとも一致する。

### 2-2. 世界に対する日本の位置づけ

道西と道東を比較すると、いかにも海陸温度コントラストの大きさが前日差に関係しているように見えたが、これが北海道のローカルな話なのか、どこでも起こり得ることなのかを調べる。まず、日最高気温と海面水温の5月の気候値を北半球規模で示す(図12)。海から遠い

ほど海の効果が見えにくくなってしまったため、海面水温グリッドから 20km 以内の地点のみに絞った。太平洋や大西洋の西側にあたる日本やアメリカ東岸などでは南北方向の水温勾配が大きく、対照的に、東側では小さい。その理由として、冷たいオホーツク海や寒流があるためである。5月の気候値の海面水温の東西平均からの偏差を見ると（図 13）、オホーツク海や親潮、アメリカ東側を流れるラブラドル寒流などが非常に同緯度帯の中で冷たいことがわかる。定量的に評価をするために、II章3節で定めた海陸温度コントラストを用いたところ、前述したような地域や五大湖などで大きな値を示していることがわかる（図 14）。五大湖やカスピ海なども海面水温扱いされているが（図 12, 13, 14）、本研究では陸上気温と表層の水温の差が重要であるという主張であるので、海面水温として扱い、解析を進める。

5月の海陸温度コントラストの分布がわかったので、次に、海陸温度コントラストと最高気温急低下指数の関係を示した（図 15）。5月における世界の GHCND のデータと日本の気象官署及び AMeDAS のデータをそれぞれプロットしてあり、それぞれの観測点から海面水温グリッドまでの距離で分けて示してある。海からの距離が近ければ近いほど、線形的な関係性がそれぞれ見られる。ただし、海陸温度コントラストが前日差に寄与するのは季節によって異なる（図 16, 17）。気象官署及び AMeDAS の各月の海陸温度コントラストと最高気温急低下指数の空間相関を見ると（図 17）、春から夏にかけて、SST が陸上気温より冷たくなる季節において正の相関関係を示していることがわかる。逆に冬の間は負の相関関係を示す。これらの関係は世界と日本の双方で似ている。この結果は海が陸より冷たい時期に、沿岸域に近いほど海陸の温度コントラストが最高気温前日差と関係していることを示し、北海道のみのローカルな話で

はないことを示している。

### 2-3. 数値実験による検証

次に、数値モデルでも海の効果を確認してみる。選んだ事例は1998年5月4日18UTCから8日00UTCで、北海道オホーツク海側に位置する紋別で、6日にこの時期としては暖かく日最高気温27.9度を記録し、翌日7日の日最高気温は8.1度で、前日差-19.8度の急低下事例である。その2日の日平均海面更正気圧を見てみると（図18）、6日は北海道山間部を通過してオホーツク海側に抜けるように風が吹き、天気も優れていた（図略）。7日の急低下日は雨など確認されていないが雲があり、オホーツク海側から風が流入してくる日となった（図略）。

数値モデルの再現性を確認するために、はじめに紋別の観測値とCTL\_RUNの2m気温の時系列を比較する（図19）。6日の昇温日には最高気温を過小評価している傾向にあるが、7日の急低下日にはおおよそ再現できている。

次に、CTL\_RUNとSST+6°C\_RUNを比較すると（図20）、昇温日である6日はほとんどの時間で2つのRUNの差はなく、6日21時ごろから7日の終日にかけてCTL\_RUNのほうがSST+6°C\_RUNよりも寒いことが示された。その結果、最高気温前日差としても2.9°C異なり、オホーツク海が冷たいことによって前日差が大きくなっていることが示された。7日の日最高気温を記録したときの2m気温と10m風の水平マップを見てみると、紋別に限らず、沿岸域に近いほど低温偏差を示している。海面水温を6°C変化させて前日差が3°C程度変化することについての妥当性を考察すると、実際の場合として、北海道の東西で6°Cほど海面水温は異な

っており、急変指数の気候値も 3°C程度異なっていることからそれなりに妥当な結果であると  
考えられる。

## IV. 最低気温前日差

### 1. 最低気温前日差の季節性・地域性

III章では最高気温前日差の結果を示した。この章では同様の解析を最低気温前日差で示し  
ていく。

各地点、各月毎に最低気温急上昇指数と最低気温急低下指数の気候値を求めた。その後、  
全国の地点で平均し、各月毎に比較した（図 21）。最低気温急上昇指数、最低気温急低下指数  
ともに、秋から春にかけて比較的大きく、最低気温急上昇指数では 2 月に、最低気温急低下指  
数では 3 月にピークを迎え、夏は急変量が小さいことが示された。

次に、最低気温急上昇マップ、最低気温急低下マップを示す（図 22, 23）。最も顕著なのは  
冬の北海道である。2 月の最低気温急上昇指数の気候値が最も高い地点では 15°Cを超える地点  
もある。北海道は冬に気温急変の極値をとるのに対し、本州では、西日本を中心に春に極値を  
とる地域も存在している。また、山間部のほうが平野部よりも最低気温急変量が大きい傾向に  
ある。

### 2. 最低気温前日差と低温

冬季の北海道に最低気温急変マップの大きな値を示したことから気温そのものが大きく関

係していることが示唆される。そこで、全国の地点、全ての月において、日最低気温と最低気温急上昇指数との関係を示す（図 24）。日最低気温の気候値が高い場合、最低気温急上昇指数の値は低く、最低気温の気候値が下がるにつれて、指数の値は高くなる傾向にある。しかし、 $0^{\circ}\text{C}$ 付近では指数の値は小さくなっていることがわかる。これは本来ならば、気温の変化に使われるエネルギーが相変化に使われていることを示唆する。また、水蒸気と最低気温急上昇指数の関係を示す（図 25）。水蒸気量の気候値が小さくなるほど指数の値が大きくなる線形的な応答を示している。しかし、水蒸気量が小さくなるほど指数の値のばらつきが大きくなっている。

北海道の 2 月に着目してみると、日最低気温の気候値は  $0^{\circ}\text{C}$  を下回っており、寒い地点ほど最低気温急上昇指数の値が高いことがわかる（図 24）。水蒸気においては気温と関係していることもあり、 $2.5\text{g/kg}$  以下の地点しかない（図 25）。しかし、北海道では水蒸気量の値がほぼ同じ値を示しているにも関わらず、最低気温急上昇指数のばらつきが大きい。これは水蒸気量によらない別の影響を示唆しており、何で説明できるかは今後の課題である。また、今回は最低気温急低下指数で示したが、最低気温急上昇指数で示しても、図 24 や図 25 と同様の関係性を示す。世界の GHCND データにおいても同様の解析を行ったところ、ばらつきはあるもののおよそ同様の結果を示した（図 26）。これらより、最低気温前日差は寒い季節・地域で値が大きいことが示された。

## V. まとめ

前日差の季節性、地域性を評価するために、10日に1回ほどの頻度で生じる前日差を、最高(低)気温急上昇(低下)指数として定義した。それらの指数を用いた結果、最高気温前日差は多くの地点では4月に、北海道では5月に急変のピークを迎え、10°C以上差がある地点も存在した。地域差としては、変化量が大きい北海道のオホーツク海側と変化量が小さい沖縄を比較すると約7°Cほど差があった(図4,5)。

最高気温前日差が大きい季節の共通点として、

- (1) 高低気圧の通過が十分にある(春・秋)
- (2) フェーン現象による昇温を強める地面からの非断熱加熱が大きい季節(春)
- (3) 海陸の温度コントラストが大きい(春)

最高気温前日差が大きい地域の共通点として、

- (1) フェーン現象の発生が確認される地域(沿岸型, 暖気移流が大きい)
- (2) 海の影響が小さい地域(内陸型, 放射冷却が大きい)
- (3) 海陸の温度コントラストが大きい(沿岸型, 寒気移流が大きい)

最高気温前日差の大きな特徴である沿岸域のシグナルに海陸温度コントラストが効いているのかを調べるためにGHCNDデータを用いて急変指数との関係を調べた(図15)。その結果、北海道のみならず、沿岸に近ければ近いほど海陸温度コントラストと前日差の関係が強く、大気だけではなく海も重要であることが示された。

次に最低気温前日差に着目した。最低気温急変指数は冬にピークを迎え（図 21）、夏の全国平均の値は 3~4°Cで、最高気温の急変指数よりも 1°Cほど低い値となった。どちらにせよ、夏季は最高気温、最低気温ともに前日差が小さいことが示された。地域性としては、冬季北海道の一部の地点では約 15°Cの値を示し、寒さで厳しいだけでなく、最低気温前日差も激しい地域であるといえる（図 22, 23）。

最低気温の急変指数の値は気温と水蒸気の気候値に大きく左右されることが示された（図 24, 25）。地表面の放射冷却には、下向き長波放射量の大きさを決める大気中の水蒸気量が重要であり（Iijima and Shinoda, 2002）、天候によっては冷え込みが強くなる。そのため冬季北海道で前日差が大きくなりやすいと考えられる。さらに、0°C付近で最低気温急上昇指数の値が小さくなって、相変化にエネルギーが使われていることも水蒸気関わっていることを示唆している。

Fujibe et al. (2007) の気温の日々変動幅を用い、同様に本研究で示した日本の 818 地点（Fujibe et al., 2007 では 17 地点のみ示している）で季節性、地域性を見たところ、結果的にはあるが前日差の季節性、地域性とおおよそ似ていた（図略）。Fujibe et al. (2007) によると、最低気温の日々変動幅は近年 30 年間で見ると有意ではないが、長期間で見ると有意な減少トレンドがあると示している。同論文より、日最低気温自体が上昇トレンドであることから、本研究で示した低温である場合に最低気温前日差が大きいという理論としても整合的な結果であったと言えよう。つまり、最低気温前日差に関しては温暖化した際に前日差及び日々気温幅は減少していく可能性を強めると考えられる。最高気温前日差に関しては複数の気候学的

形成要因があり、複雑に相互作用している可能性がある。最高気温前日差及び日々変動幅の長期トレンドの根拠を深めるため、今回指摘しなかった新たな要因や、それぞれの要因の寄与率などより詳細な解析をする必要がある。

## VI. 謝辞

本研究を進めるにあたり、立花義裕先生には熱心にご指導をいただきました。いつも納得できるまで丁寧に説明して頂いたこと、様々な意見を頂きながらも意見を聞かず自分がやりたいようにやってきたこと深く感謝及びお詫び申し上げます。同研究室の小松謙介氏にはモデルのデータを提供して頂きました。安藤雄太氏にはデータの取得を行っていただきました。お二方の先輩なしではここまで研究を進めることができなかったと思います。また、様々な点で助言を頂きました西井和晃先生、飯島慈裕先生をはじめとした先生方、そしてその他研究室の皆様  
に感謝の意を表します。

## VII. 文献

常盤勝美 2012. マーチャンダイジングと季節. 地球環境 17: 99-106.

Fujibe, F., Yamazaki, N., Kobayashi, K. and Nakamigawa, H. 2007. Long-term changes of temperature extremes and day-to-day variability in Japan. *Papers in Meteorology and Geophysics* 58: 63-72.

Fujibe, F., Matsumoto, J. and Suzuki, H. 2018. Regional Features of the Relationship between

- Daily Heat-Stroke Mortality and Temperature in Different Climate Zones in Japan. *SOLA* 14: 144-147.
- Griffiths, G. M., Chambers, L. E., Haylock, M. R., Manton, M. J., Nicholls, N., Baek, H.-J., Choi, Y., Della-Marta, P. M., Gosai, A., Iga, N., Lata, R., Laurent, V., Maitrepierre, L., Nakamigawa, H., Ouprasitwong, N., Solofa, D., Tahani, L., Thuy, D. T., Tibig, L., Trewin, B., VEDIAPAN, K. and Zhai, P. 2005. Change in mean temperature as a predictor of extreme temperature change in the Asia-Pacific region. *International Journal of Climatology* 25: 1301-1330.
- Iijima, Y. and Shinoda, M. 2002. The Influence of Seasonally Varying Atmospheric Characteristics on the Intensity of Nocturnal Cooling in a High Mountain Hollow. *Journal of Applied Meteorology* 41: 734-743.
- Menne, M.J., Durre, I., Vose, R.S., Gleason, B.E., Houston, T.G. 2012. An overview of the global historical climatology network-daily database. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 29: 897-910.
- Mori, K. and Sato, T. 2014. Spatio-Temporal Variation of High-Temperature Events in Hokkaido, North Japan. *Journal of the Meteorological Society of Japan* 92: 327-346.
- Reynolds, R. W., Rayner, N. A., Smith, T. M., Stokes, D. C. and Wang, W. 2002. An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *Journal of Climate* 15: 1609-1625.
- Simmons, A., Uppala, C., Dee, D. and Kobayashi, S. 2006. ERA-Interim: New ECMWF

reanalysis products from 1989 onwards. *ECMWF Newsletter* 110: 25-36

Takane, Y. and Kusaka, H. 2011. Formation mechanisms of the extreme high surface air temperature of 40.98C observed in the Tokyo metropolitan area: Considerations of dynamic foehn and foehnlike wind. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 50: 1827–1841.

Takane, Y., Kondo, H., Kusaka, H., Katagi, J., Nagahuchi, O., Nakazawa, K., Kaneyasu., N. and Miyakami, Y. 2017. Foehnlike Wind with a Traditional Foehn Effect plus Dry-Diabatic Heating from the Ground Surface Contributing to High Temperatures at the End of a Leeward Area. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 56: 2067-2079.

VIII. 図

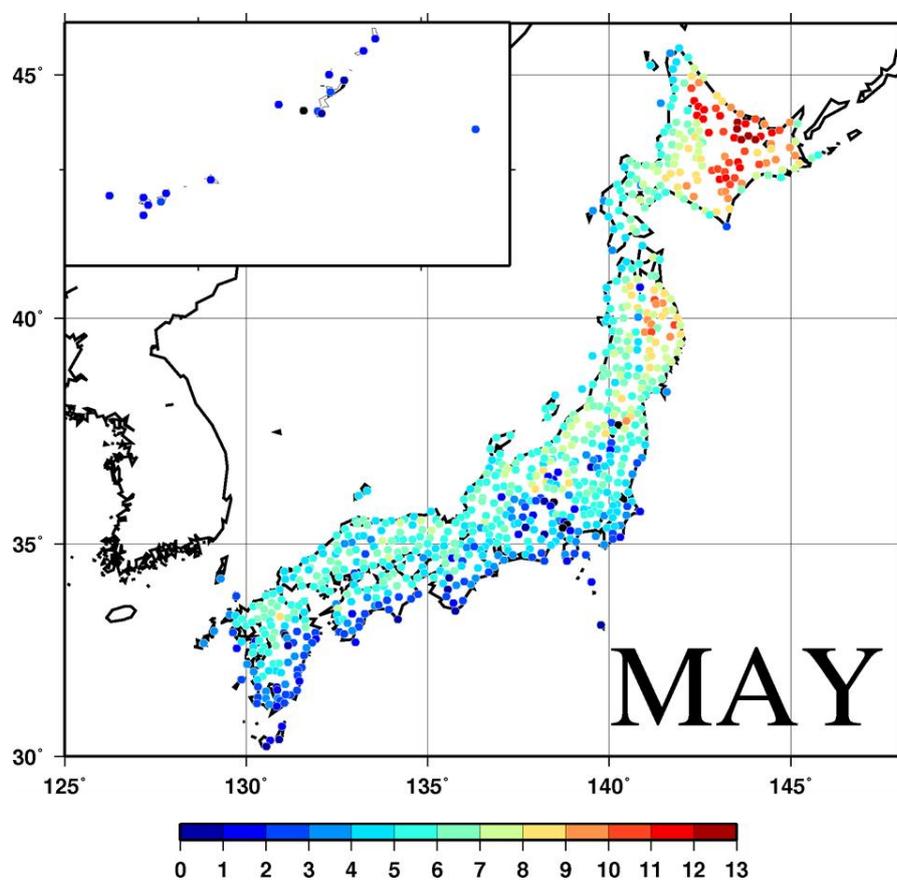


図1 5月の海陸温度コントラスト[°C]

陸地の観測地点の最高気温とその観測地点から最も近い SST グリッドの温度差の気候値 (1986-2015 年) を示す.

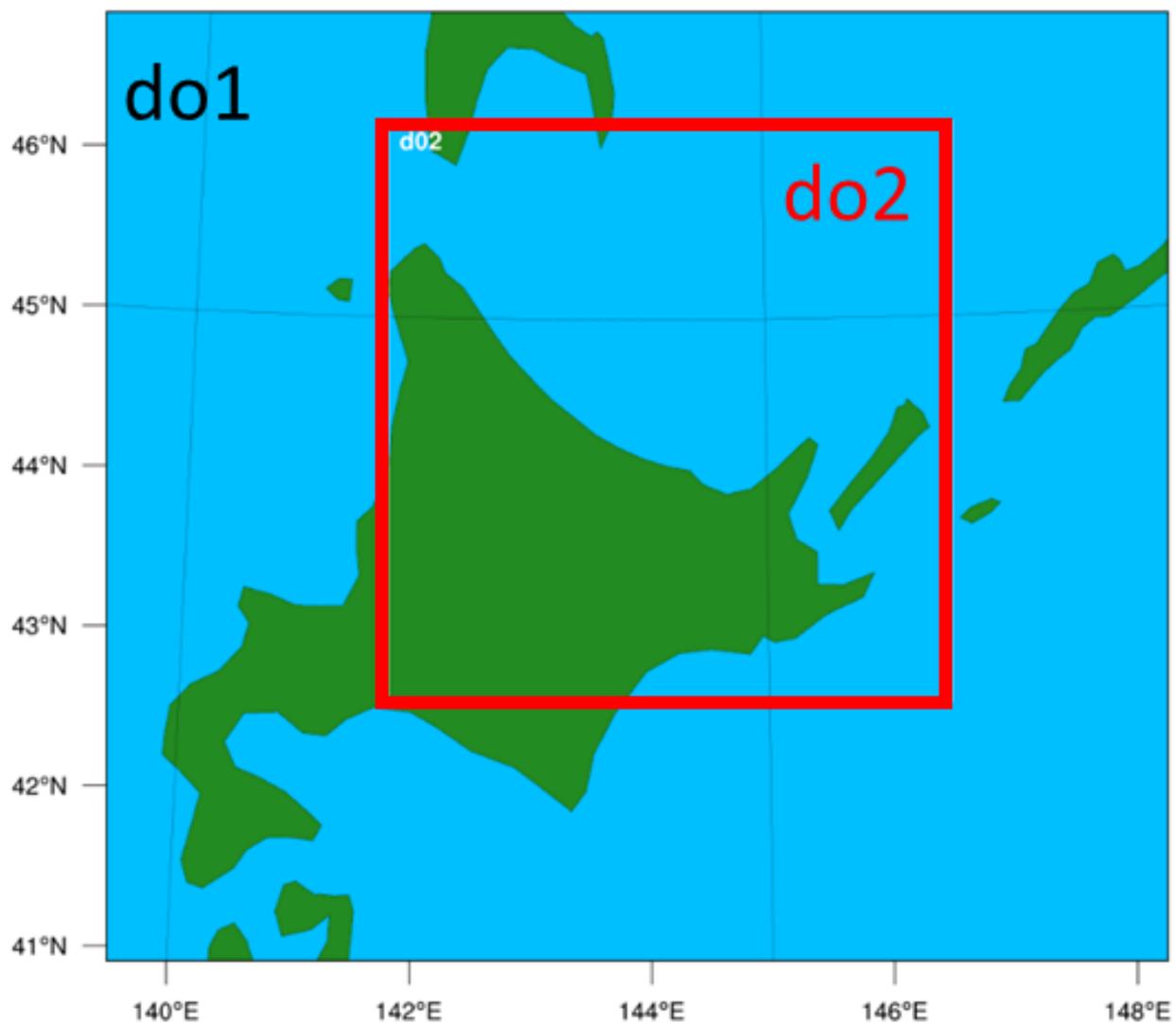


図2 WRF の計算領域  
ドメイン1が外枠，ドメイン2が赤枠を示す.

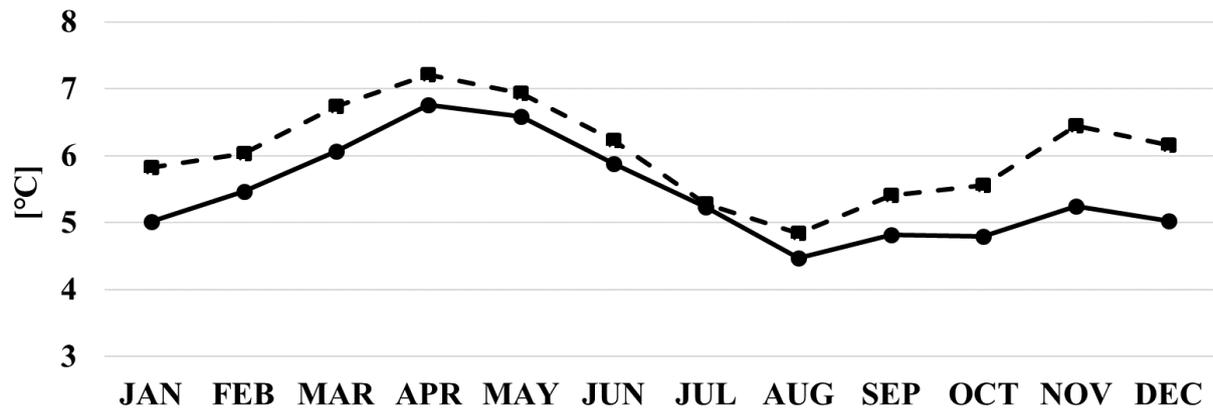


図3 最高気温急変指数の季節変化

最高気温急上昇指数[°C]（実線），最高気温急低下指数[°C]（破線）の気候値（1986-2015年）をそれぞれ全国平均した時系列。

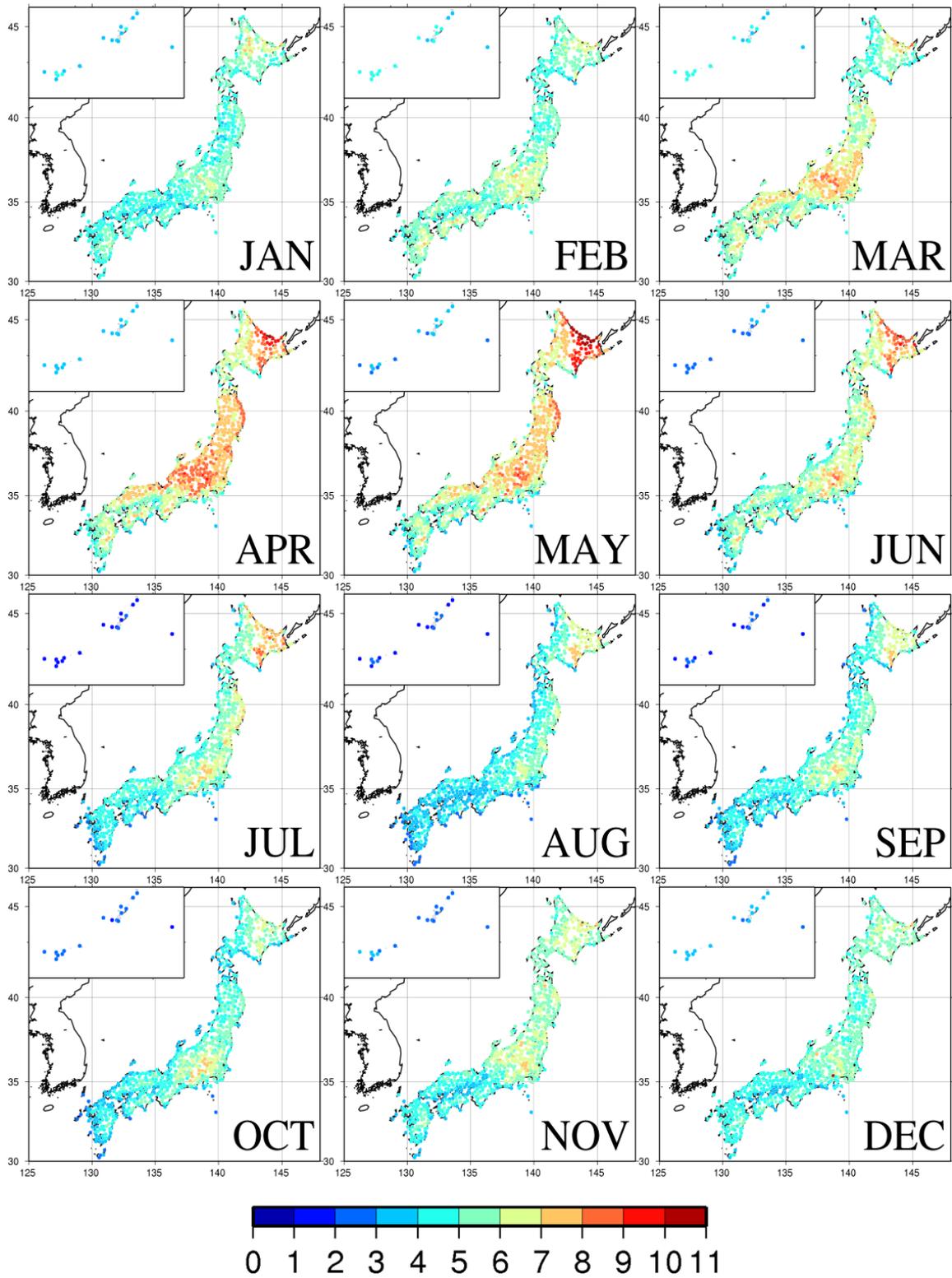


図4 最高気温急上昇マップ  
1986-2015年の最高気温急上昇指数[°C]の気候値(色).

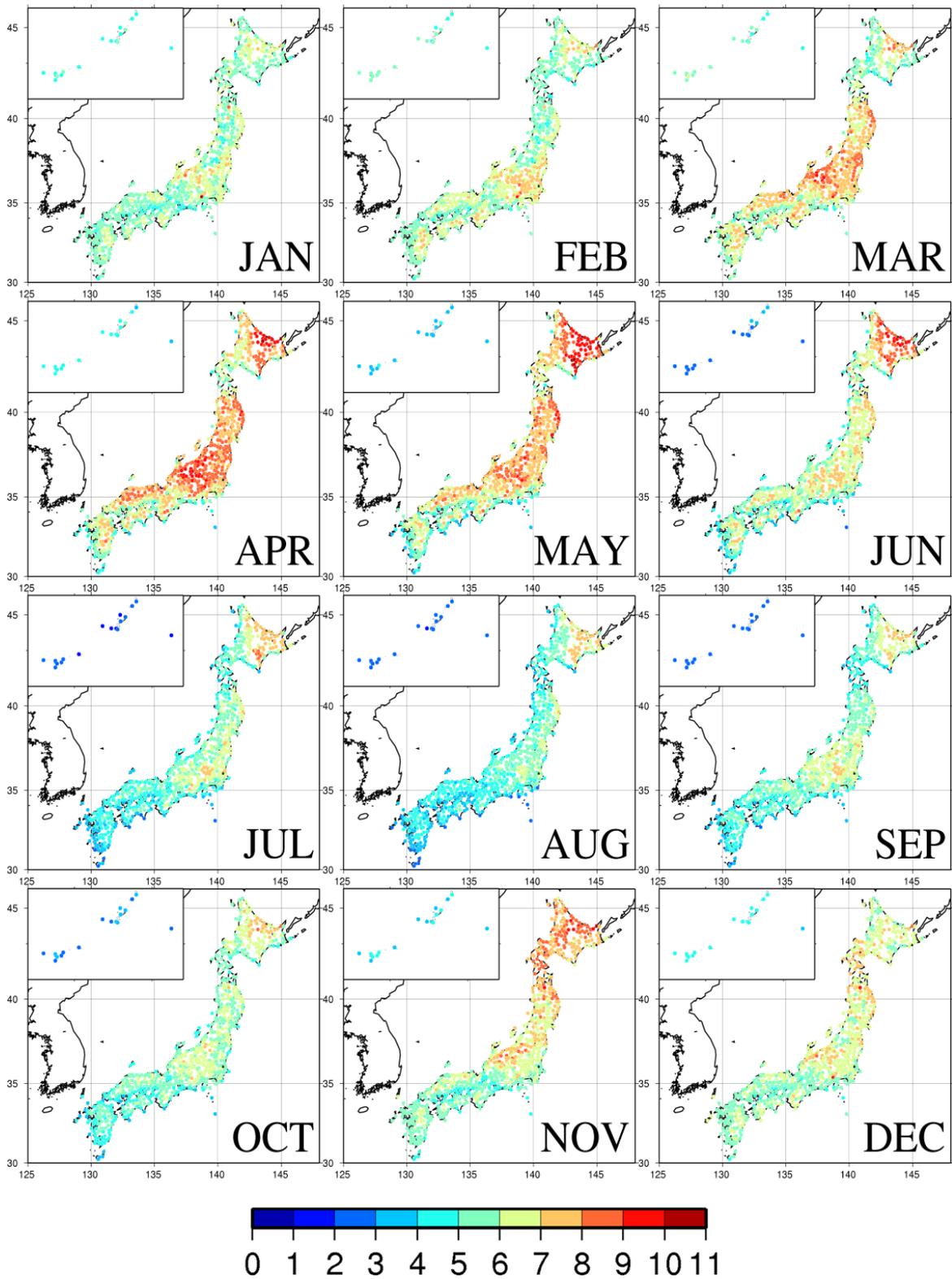


図5 最高気温急低下マップ  
1986-2015年の最高気温急低下指数[°C]の気候値(色).

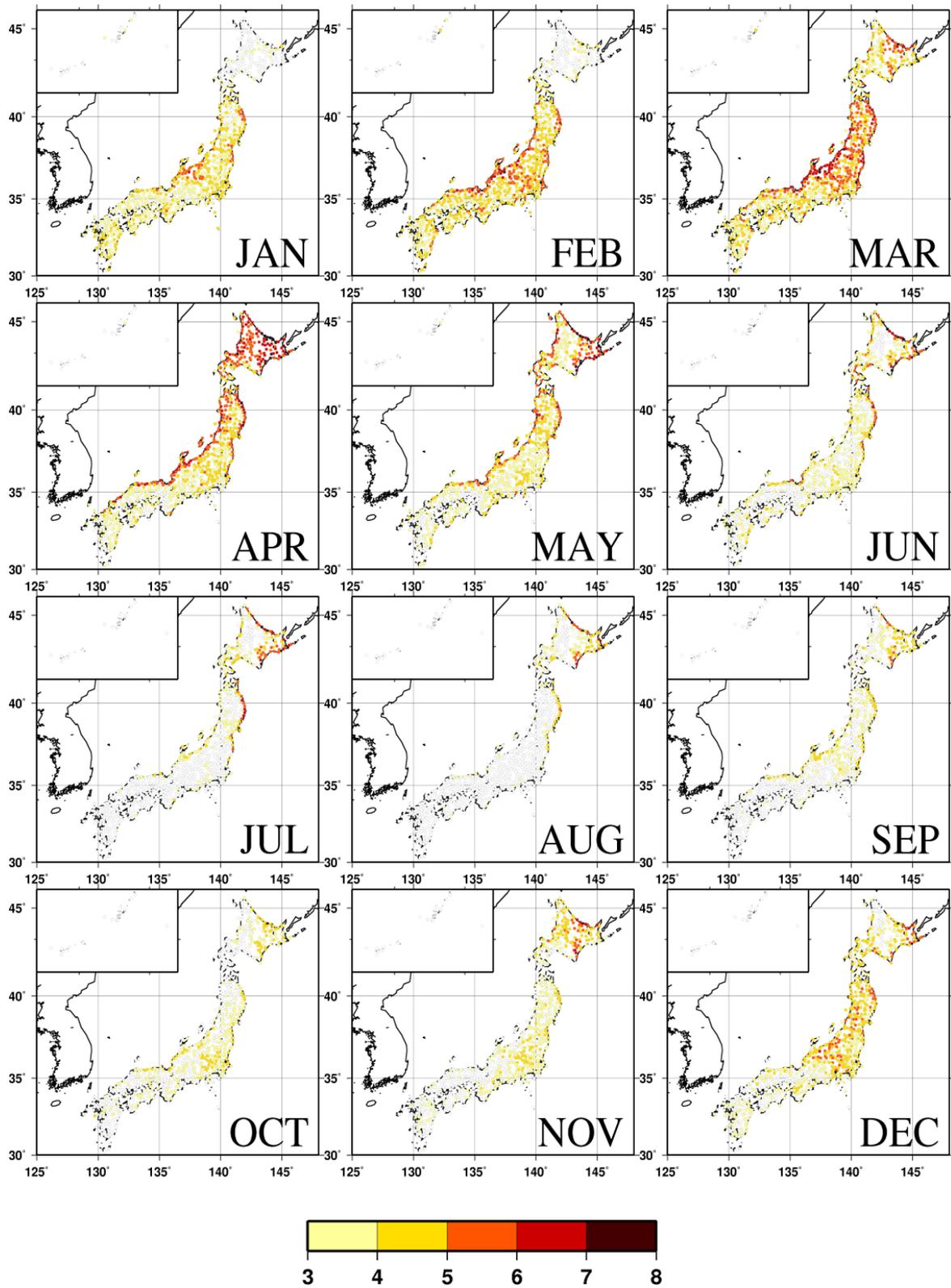


図6 最高気温急上昇日の合成図偏差[°C] (色)  
 最高気温急上昇日の日最高気温平均値と日最高気温気候値 (1986-2015年) の差。

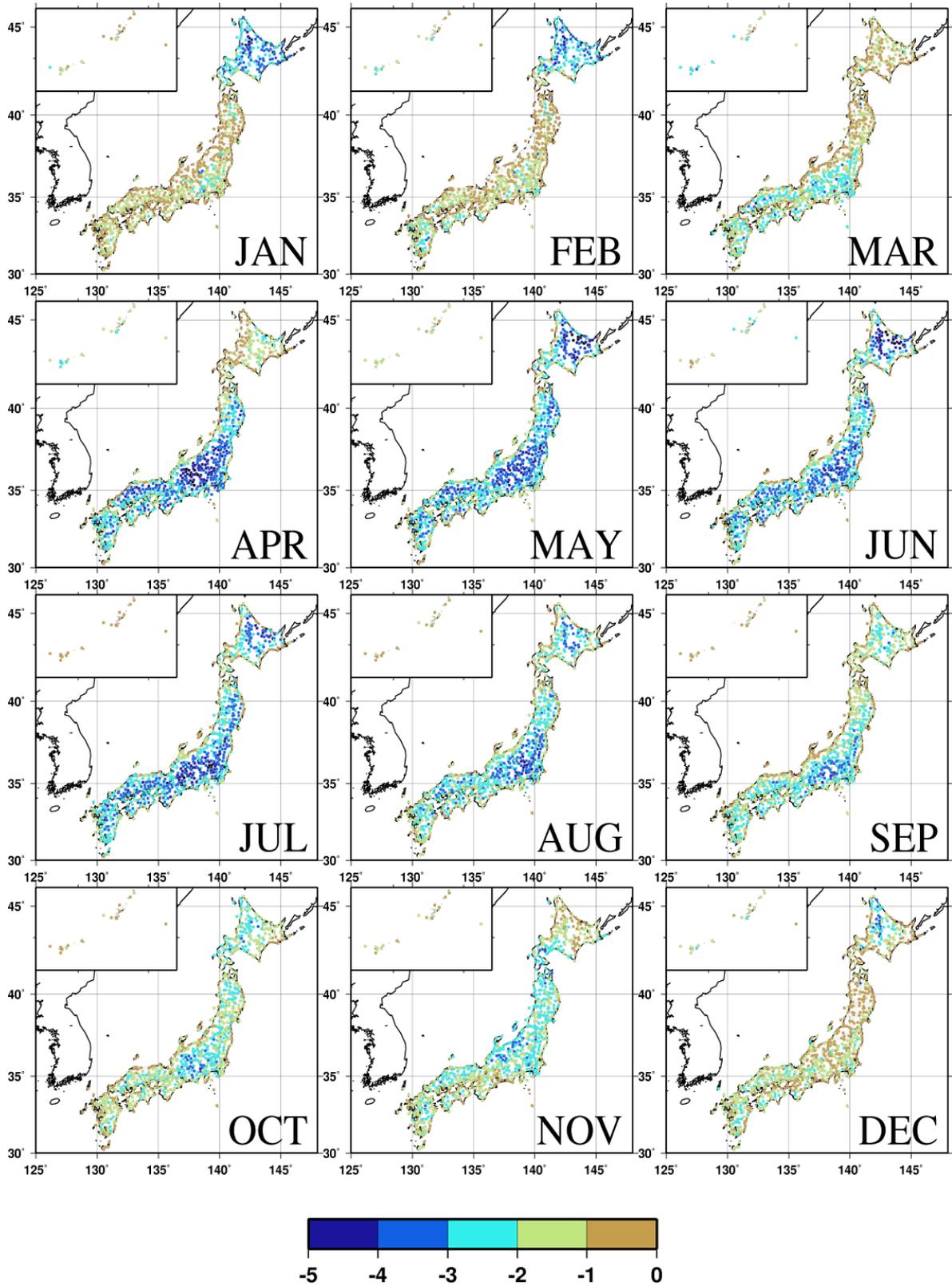


図7 最高気温急上昇日の前日の合成図偏差[°C] (色)  
 最高気温急上昇日前日の日最高気温平均値と日最高気温気候値(1986-2015年)の差.

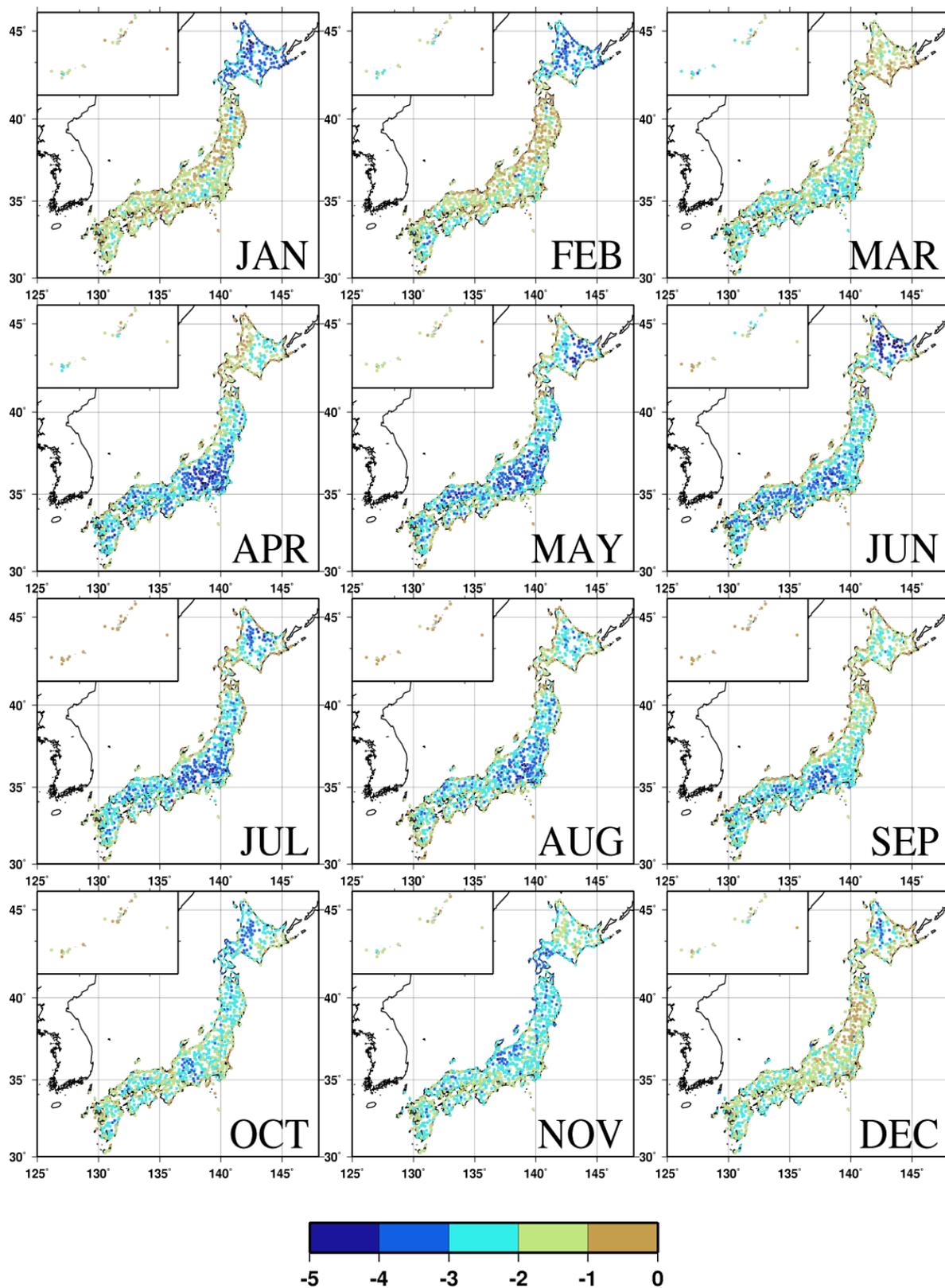


図8 最高気温急低下日の合成図偏差[°C] (色)  
 最高気温急低下日の日最高気温平均値と日最高気温気候値 (1986-2015年) の差.

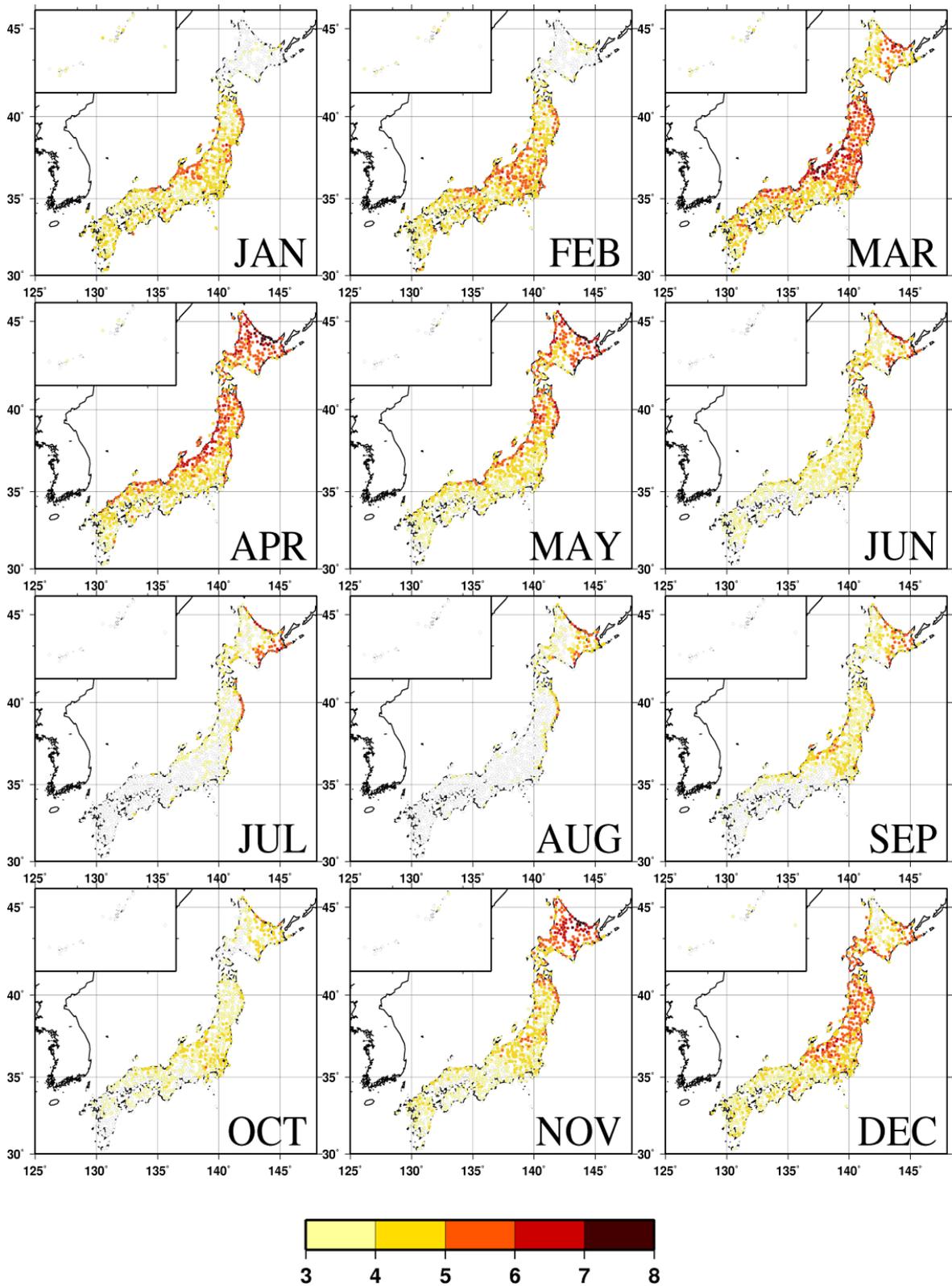


図9 最高気温急低下日の前日の合成図偏差[°C] (色)  
 最高気温急低下日前日の日最高気温平均値と日最高気温気候値(1986-2015年)の差

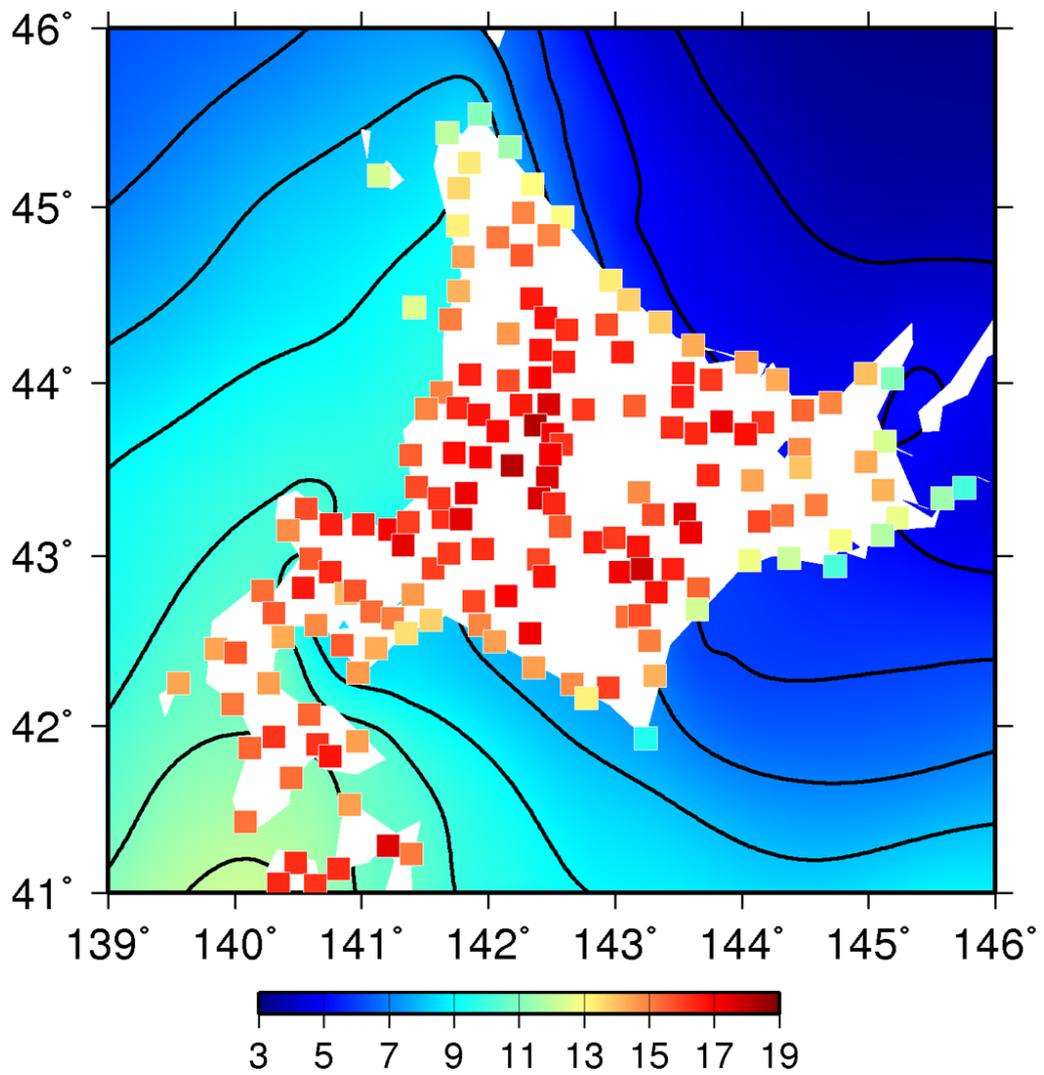


図10 5月の日最高気温[°C]と日平均海面水温[°C]の1986-2015年の気候値(色)それぞれ同じカラースケールで示す。

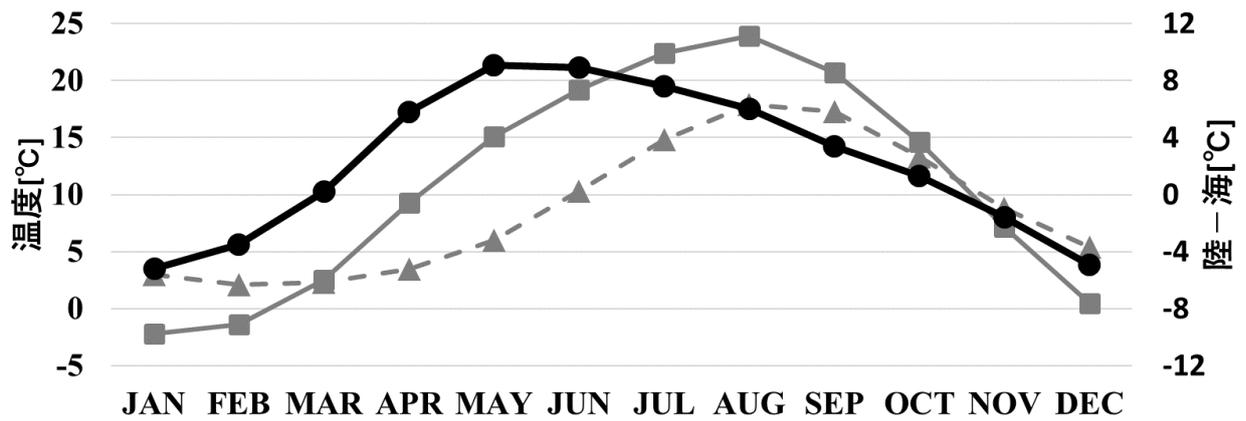


図 11 北海道の観測地点と周辺の海面水温の季節変化

北海道のアメダス地点の日最高気温[°C]の平均（細線）と北海道周辺（139-146E, 41-46N）の領域平均した海面水温[°C]（破線），また、それらの差[°C]（太線）の気候値（1986-2015年）の季節変化を示す。

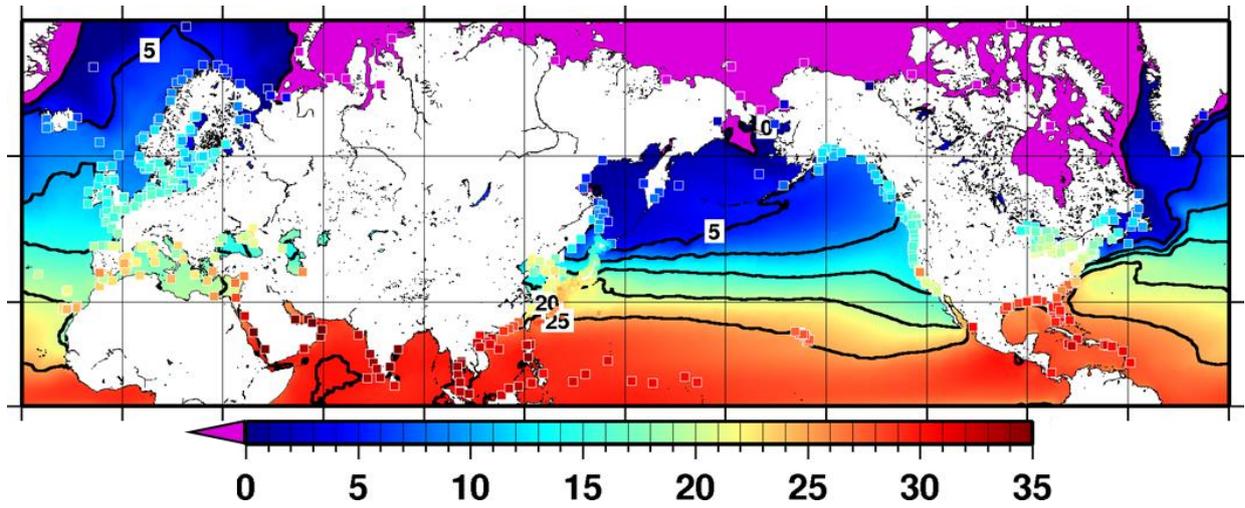


図 12 北半球規模で見た、海から 20km 以内の地点の日最高気温[°C]と SST[°C]のそれぞれ 5 月の気候値 (1986-2015 年)

図 10 と同様. ただし, GHCND と気象官署及び AMeDAS のデータを用い, 海の影響が見やすい SST グリッドまでの距離が 20km 以内の地点を示した.

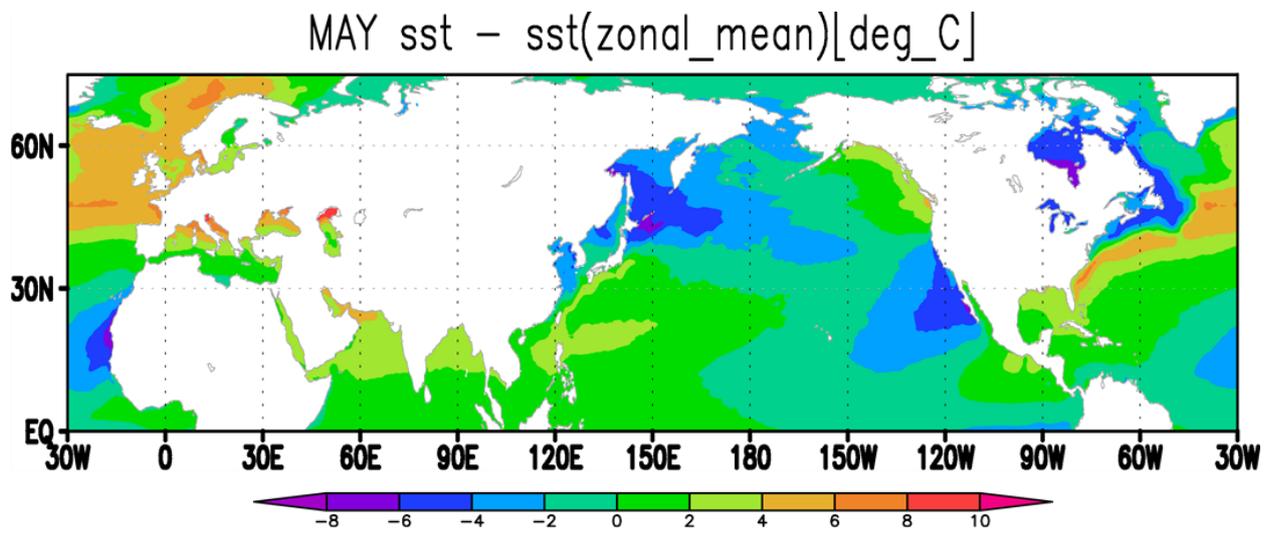


図 13 5月の海面水温の東西平均からの偏差[°C] (色)  
 5月の日平均海面水温の気候値 (1986-2015年) とその東西平均の差を示す.

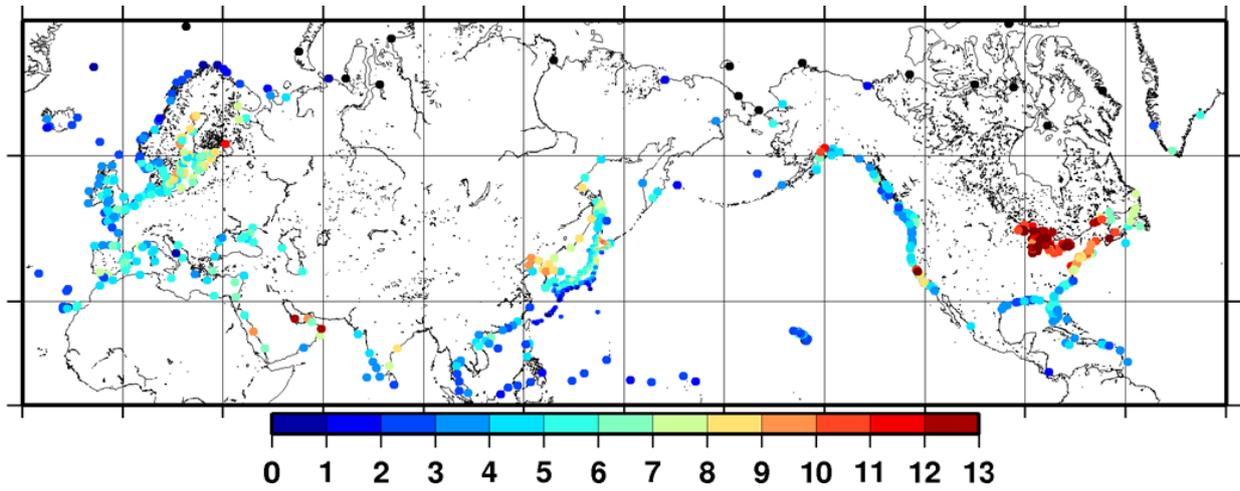


図 14 北半球規模で見た、海から 20km 以内の地点の海陸温度コントラスト [°C] の 5 月の気候値 (1986-2015 年)

図 1 と同様. ただし, GHCND と気象官署及び AMeDAS のデータを用い, 海の影響が見やすい SST グリッドまでの距離が 20km 以内の地点を示した.

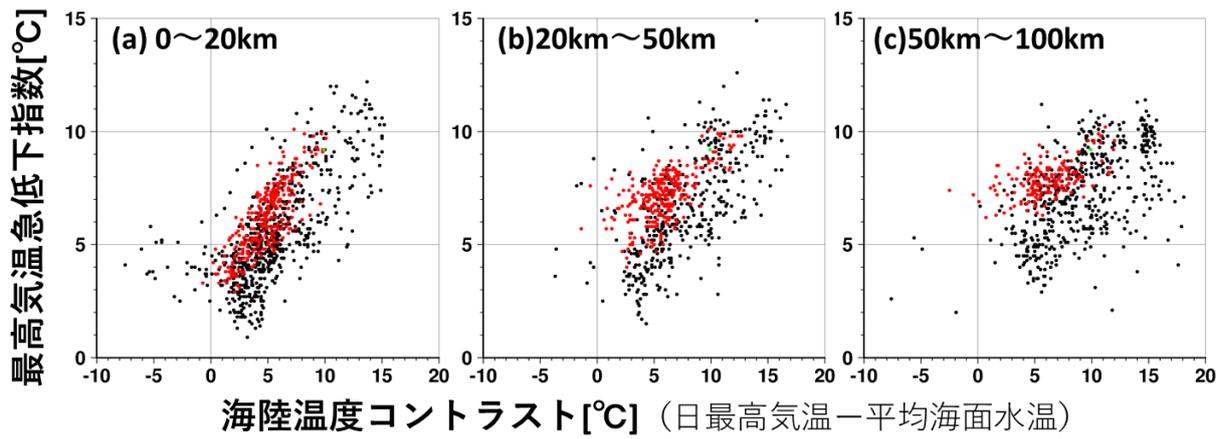


図 15 海陸温度コントラスト[°C] (横軸) と最高気温急低下指数[°C] (縦軸) の関係の距離による違い

それぞれ 5 月の気候値 (1986-2015 年) を示しており, 黒丸が GHCND のデータを示し, 赤丸が気象官署及び AMeDAS のデータを示す. 海面水温のグリッドポイントから (a)20km 以内 (b)20~50km (c)50~100km にそれぞれ含まれる地点である.

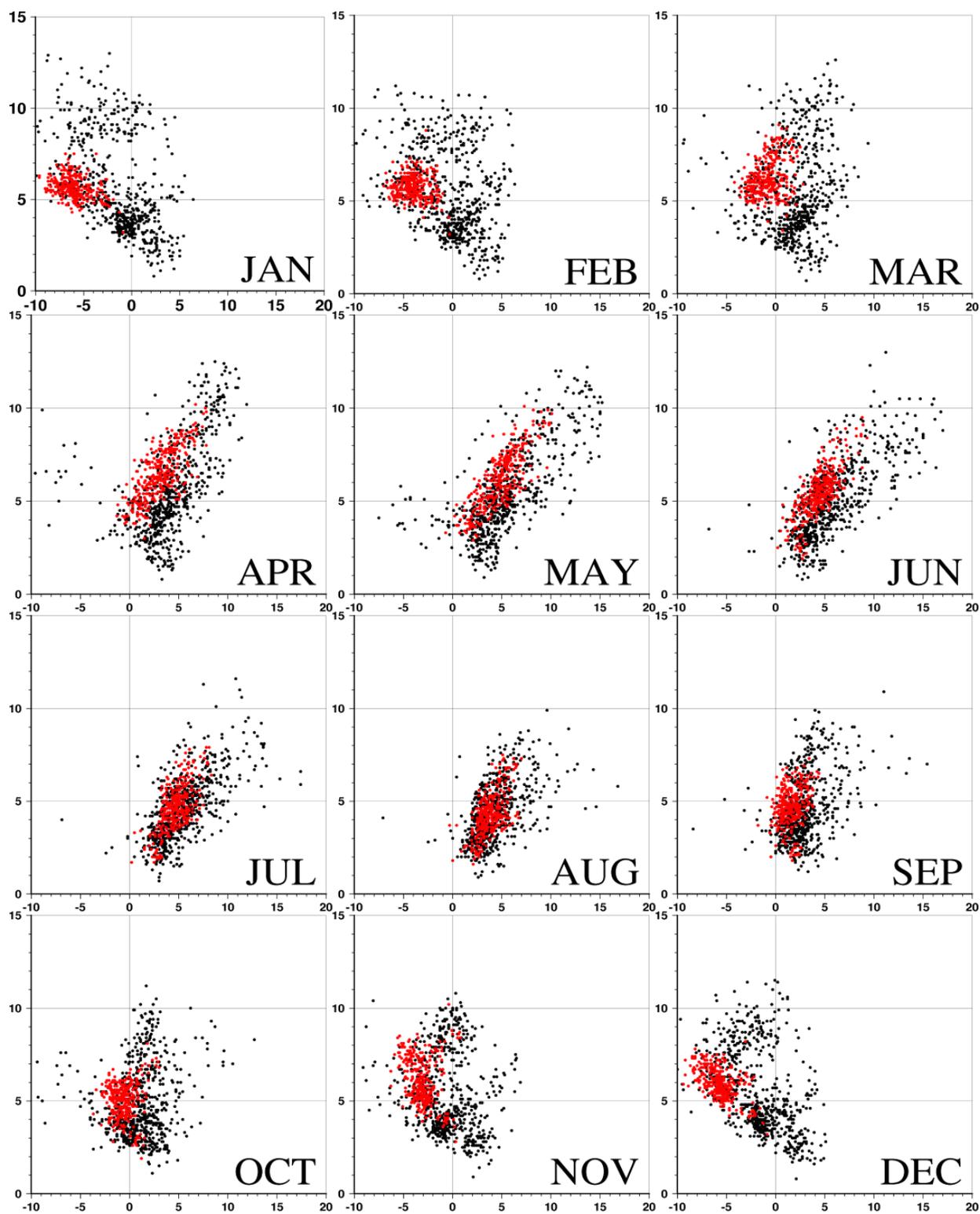


図 16 海陸温度コントラスト[°C] (横軸) と最高気温急低下指数[°C] (縦軸) の関係の季節変化  
 それぞれ各月の気候値 (1986-2015 年) を示しており、黒丸が GHCND のデータを示し、赤丸  
 が気象官署及び AMeDAS のデータを示す。海面水温のグリッドポイントから 20km 以内に含ま  
 れる地点のみを示す。

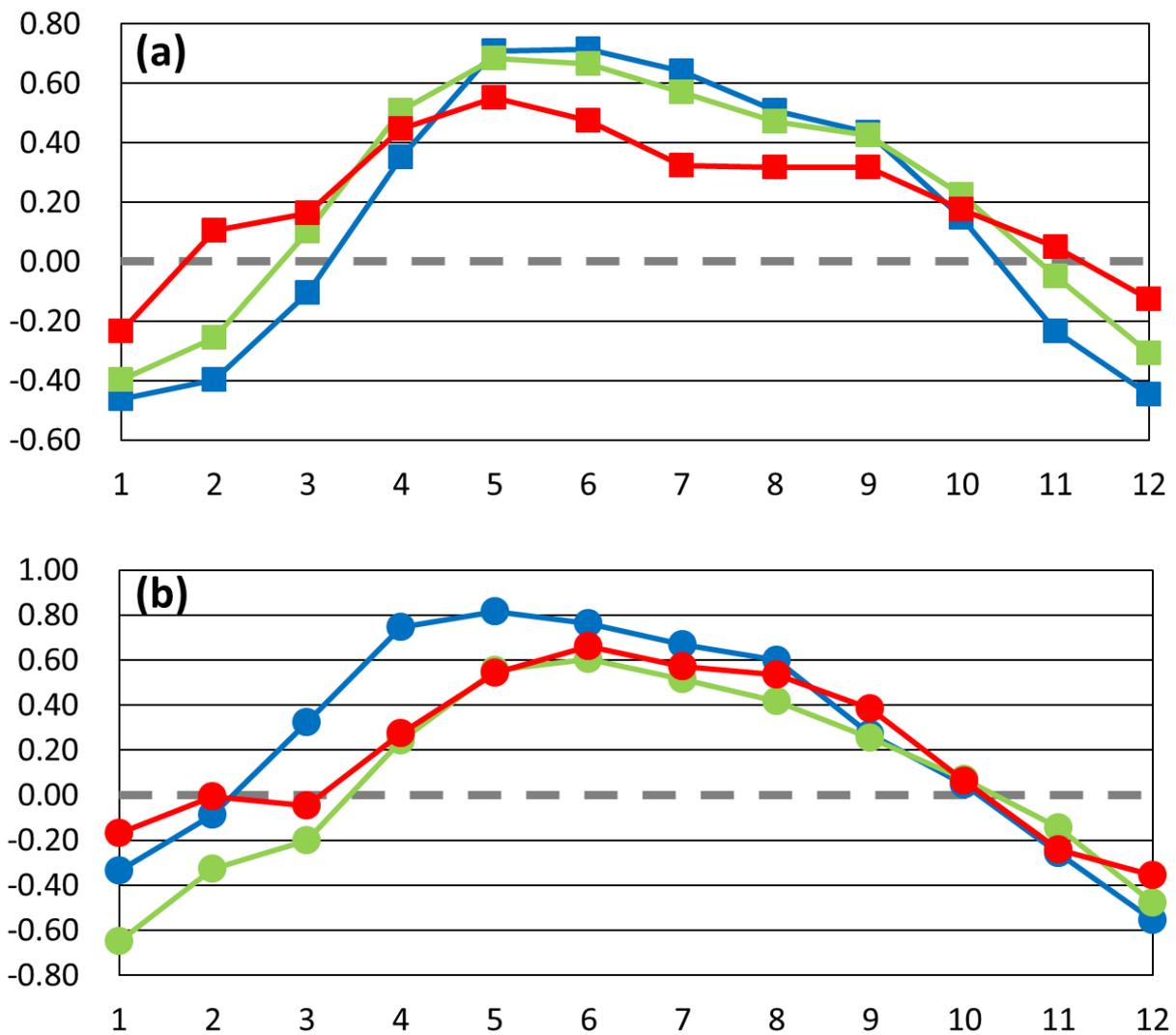


図 17 海陸温度コントラストと最高気温急低下指数の相関係数の季節変化

各月において(a)GHCND, (b)気象官署及び AMeDAS の海陸温度コントラストと最高気温急低下指数のそれぞれ気候値 (1986-2015 年) の空間方向の相関係数を示す. 青丸が 0~20km, 緑丸が 20~50km, 赤丸が 50~100km であり, それぞれの地点数は GHCND : 604 地点, 388 地点, 482 地点, 気象官署及び AMeDAS : 322 地点, 300 地点, 179 地点をそれぞれ示す.

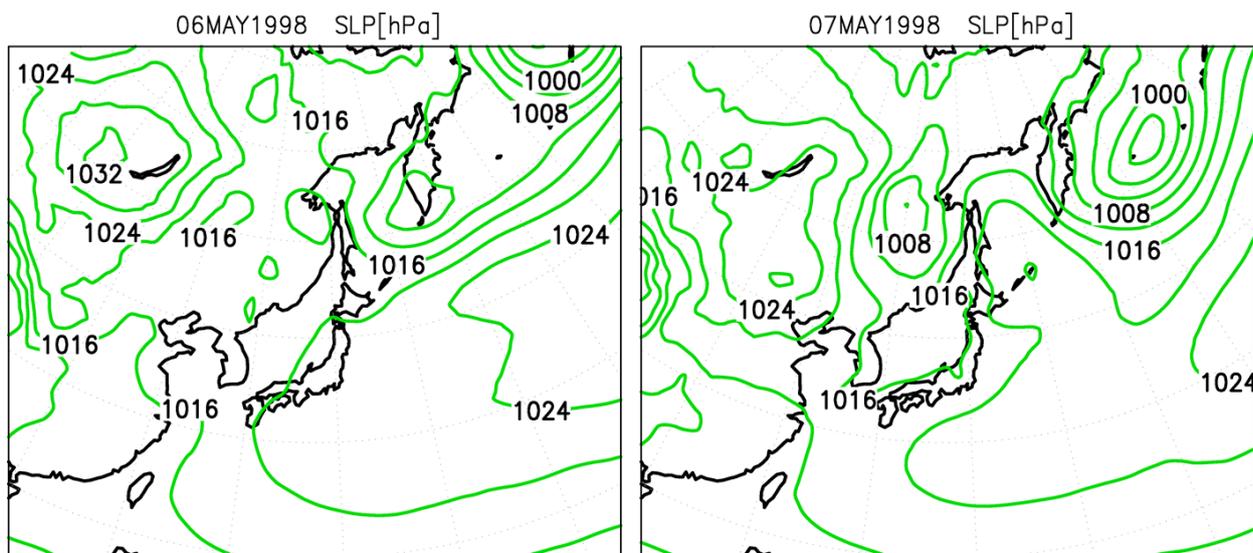


図 18 モデル実験の事例日の天気図

1998年5月6日（左図）と7日（右図）の日平均海面構成気圧[hPa]を示す。北海道オホーツク海側に位置する紋別で6日に日最高気温 27.9℃、7日に 8.1℃の前日差 -19.8℃の急低下日の事例を示す。

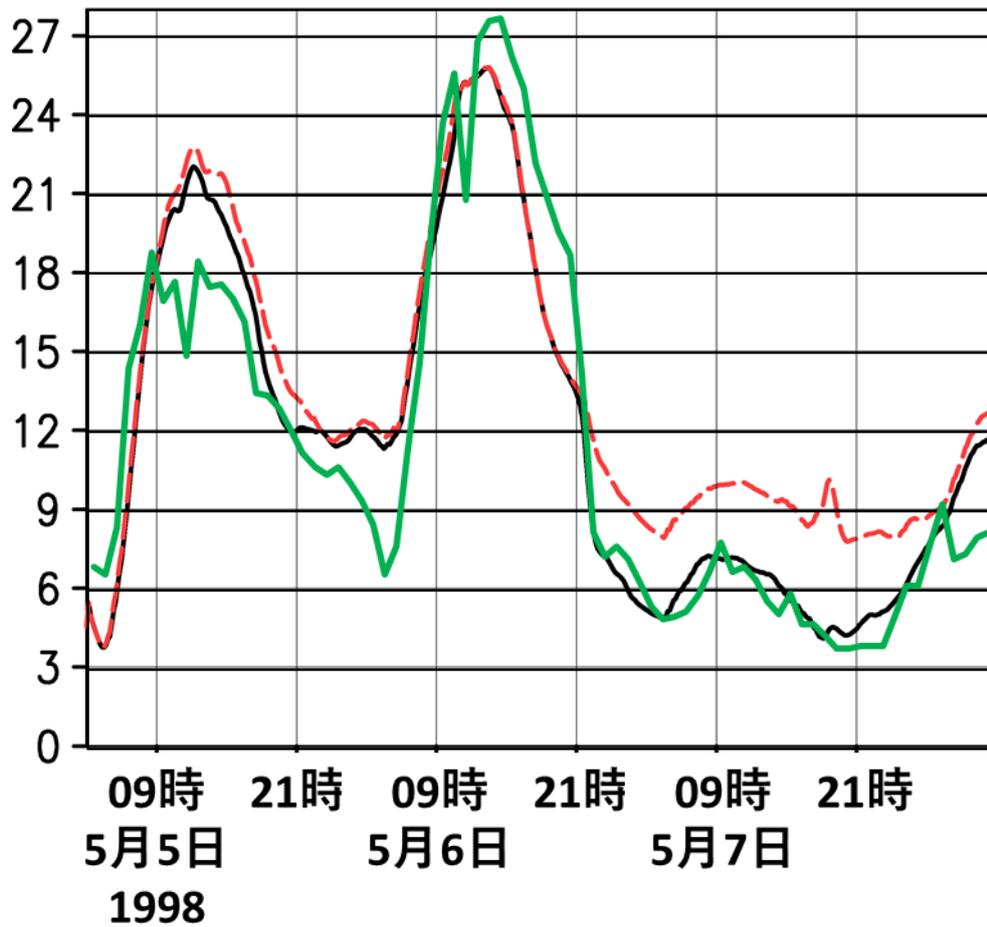


図 19 数値モデルによる紋別（北緯 44.34 東経 143.35）の気温の時系列[°C]  
 1998 年 5 月 4 日 05 時から 8 日の 08 時までの緑線が観測地，黒線が CTL\_RUN，赤線が SST+6°C\_RUN のそれぞれ気温を示す。

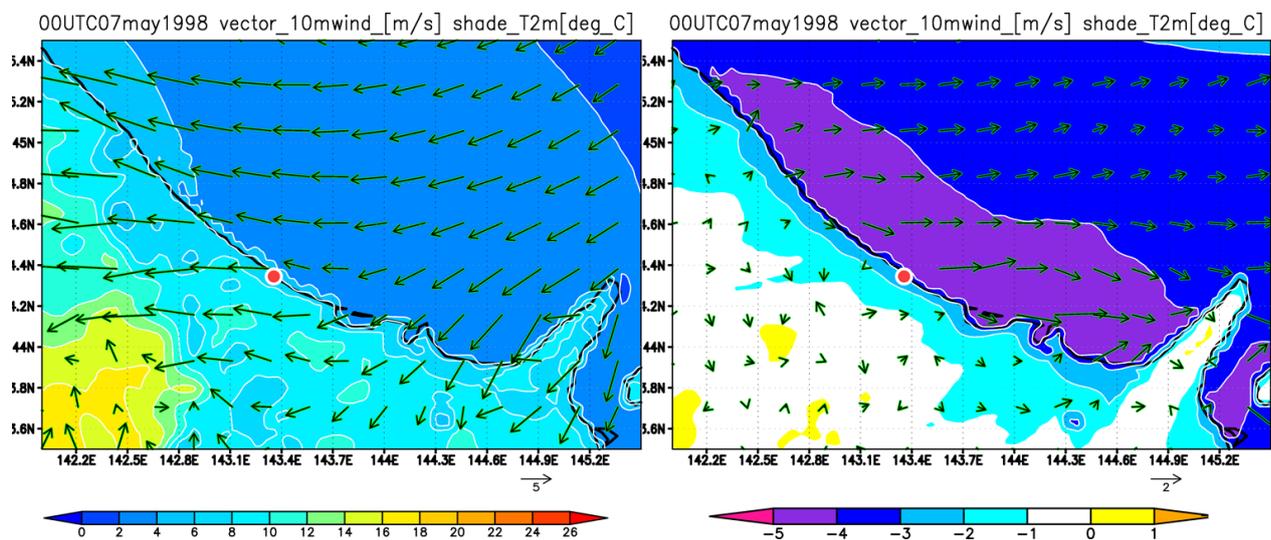


図 20 1998 年 7 日 09 時（日最高気温記録した時刻）の 2m 気温[°C]と 10m 風[m/s]の水平分布  
 CTL\_RUN（左図），CTL\_RUN - SST + 6°C\_RUN（右図）をそれぞれ示し，紋別（北緯 44.34 東経 143.35）の地点は赤丸のシンボルを置いてある。

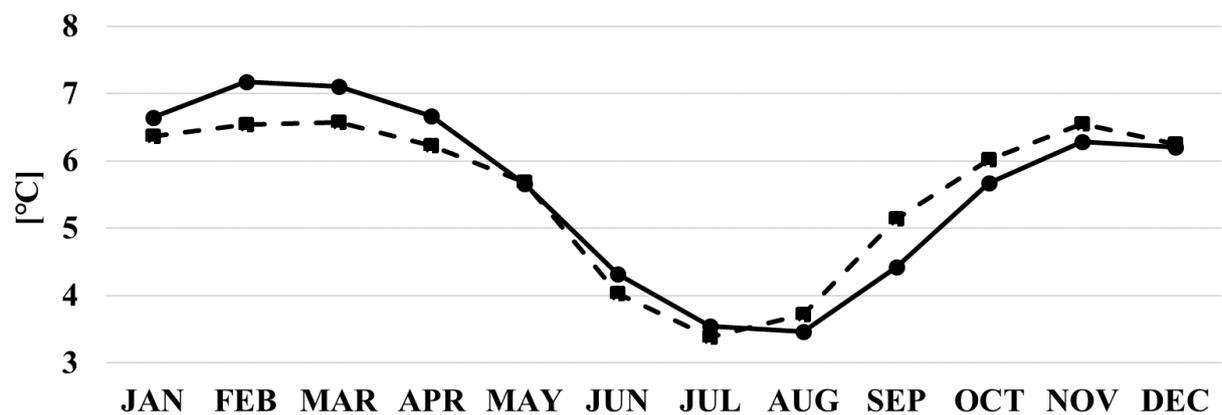


図 21 最低気温急変指数の季節変化

最低気温急上昇指数[°C] (実線), 最低気温急低下指数[°C] (破線) の気候値 (1986-2015 年) をそれぞれ全国平均した時系列.

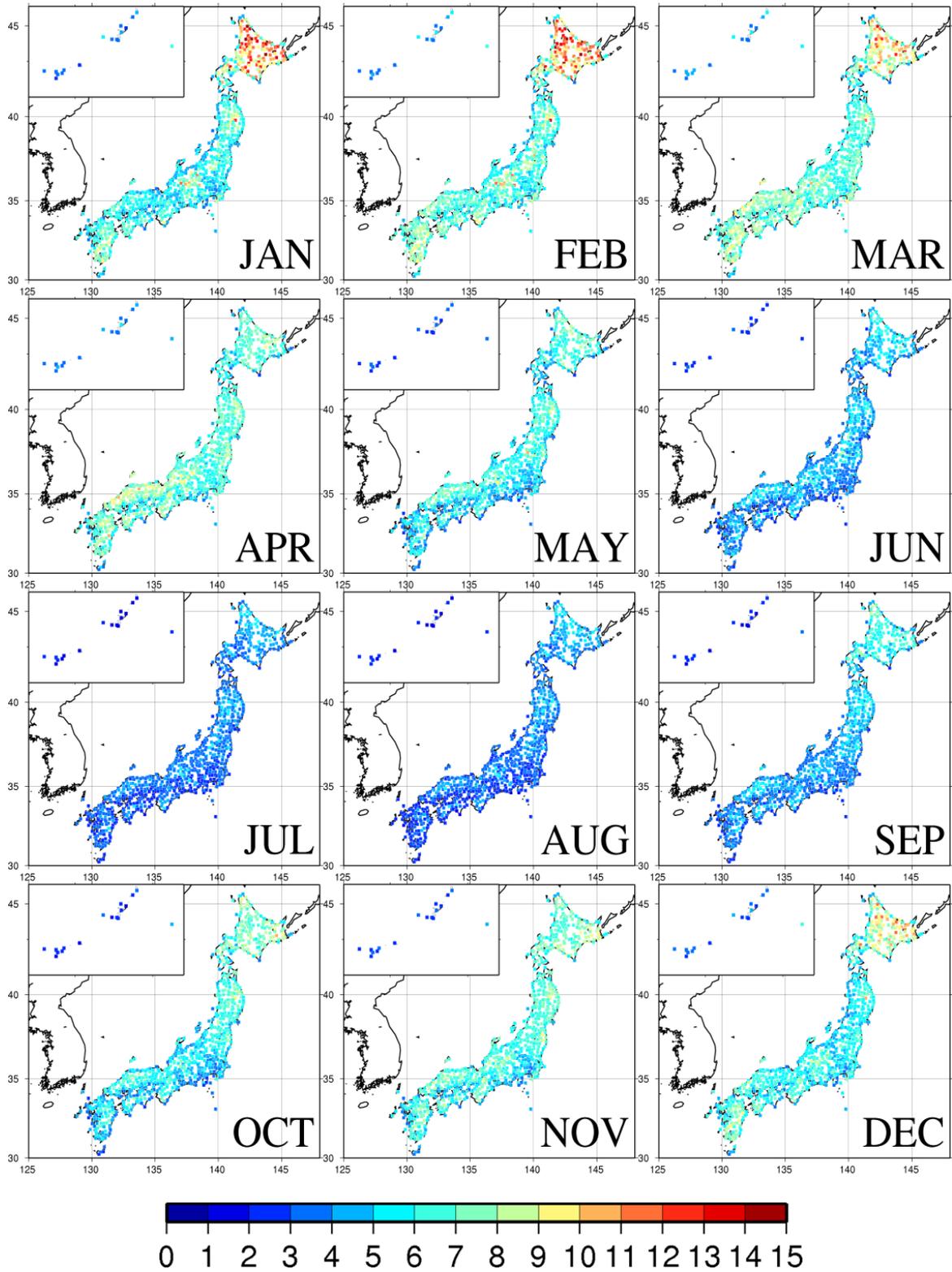


図 22 最低気温急上昇マップ  
1986-2015 年の最低気温急上昇指数[°C]の気候値 (色).

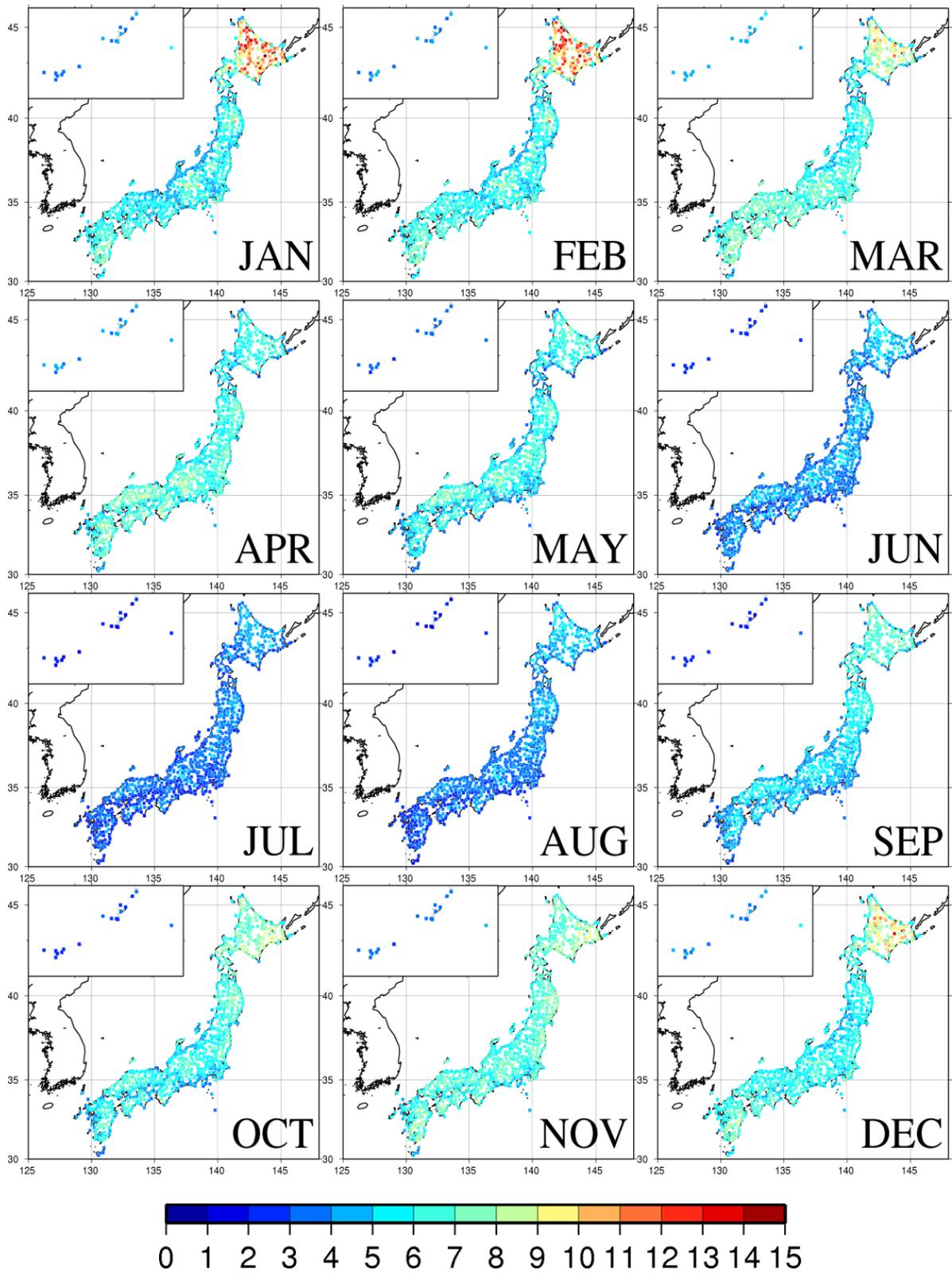


図 23 最低気温急低下マップ  
1986-2015 年の最低気温急低下指数[°C]の気候値 (色).

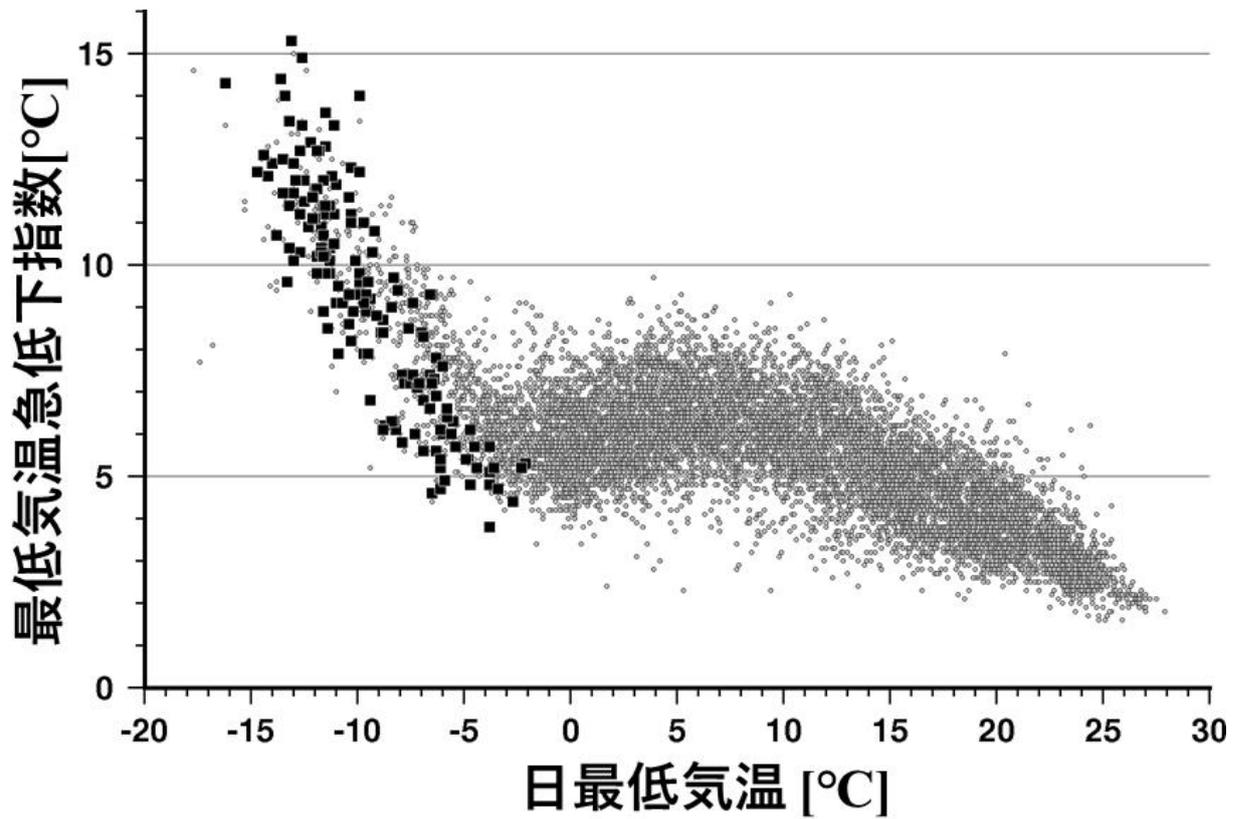


図 24 最低気温前日差と日最低気温との関係

日最低気温[°C] (横軸) -最低気温急低下指数[°C] (縦軸) の散布図を示す。それぞれ月毎の気候値 (1986-2015 年) を示し、プロット数は気象官署及び AMeDAS の 818 地点×12 か月分である。2月の北海道の値は強調するために四角で表記する。

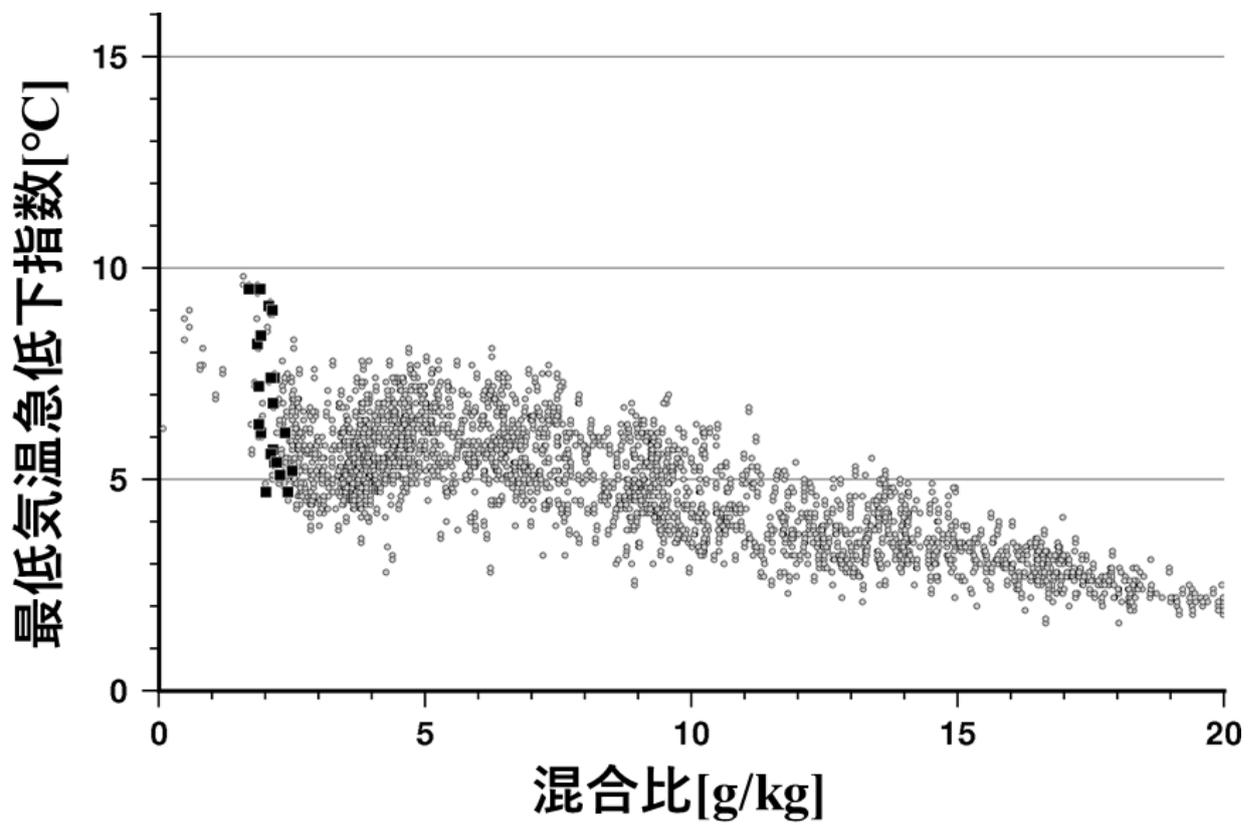


図 25 最低気温前日差と水蒸気の関係

混合比[g/kg] (横軸) -最低気温急低下指数[°C] (縦軸) の散布図を示す. それぞれ月毎の気候値 (1986-2015 年) を示し, プロット数は気象官署 157 地点×12 か月分である. 2月の北海道の値は強調するために四角で表記する.

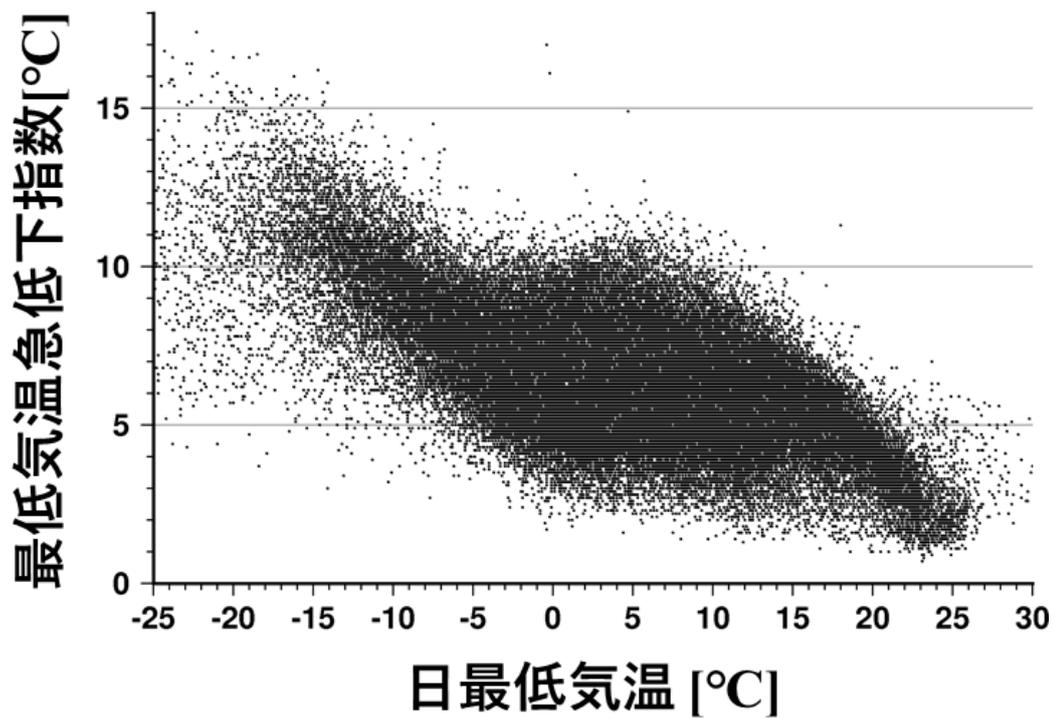


図 26 世界の最低気温前日差と日最低気温の関係  
図 24 と同様. ただし, プロット数は GHCND データ 5351 地点×12 か月分である.