

# 1 km メッシュデータによる北海道の気候変動解析 ～ケッペンの気候区分を用いて～

## Climate Change Analysis of Hokkaido by Mesh Data Using Koeppen Climate Classification

葛西 光希<sup>1</sup>, 木村 圭司<sup>2</sup>  
Koki KASAI<sup>1</sup> and Keiji KIMURA<sup>2</sup>

### 要旨

日本でケッペンの気候区分を適用すると、東北から北海道にかけての地域で、温帯から亜寒帯の遷移帯がみられる。本研究では、この遷移帯付近に位置し、かつ比較的小さな範囲である北海道(北方領土は除く)を対象としてケッペンの気候区分を適用した。また、気候の面的な分布を見られるよう、気象台や AMeDAS 観測所のデータより詳細な、1 km メッシュデータを用いて区分を行った。この結果、北海道の代表的な気候区とされている亜寒帯の Df (Dfa・Dfb・Dfc) 以外にも、温帯の Cfa・Cfb・Cs\* や、それにわずかながら Dwb、寒帯の ET と、さまざまな気候区が存在することが分かった。また、1971～2000年、1981～2010年の2期間について同様の解析を行い、気候区が変化した地域を明らかにした。2期間で生じたすべての気候区変化パターンをクロス集計により明らかにした。さらに、各変化パターンの代表メッシュを抽出し、気温や降水量のデータを用いて、変化が生じた理由を説明した。北海道において、ある気候区が変化するパターンとその逆方向の気候区への変化パターンが混在した地域が見られ、この地域は気候区の遷移帯であると判断できる。遷移帯において気候区が変化したメッシュ数を比較すると、温暖化の傾向を示すメッシュ数が多かった。北海道という比較的小さな地域でもケッペンの気候区分により気候変動の側面が把握できたことから、小地域におけるケッペンの気候区分が有効性を持つ場合があることが確認された。

### Abstract

Most Japanese high school students learn about climatology and its classifications by studying geography. Of the numerous forms of climate classification, the Koeppen classification (Koeppen, 1936) is the most widely used. This classification method illustrates the differences in global climate according to vegetation associated with five main climate types including A, tropical; B, arid; C, temperate; D, continental; and E, polar. These climate types are defined by monthly temperature and precipitation and are further divided into various subtypes according to seasonal temperature and precipitation changes.

Only two of these types, C and D, and certain subtypes apply to Japan. The main transition band between these types is distributed through Hokkaido and Tohoku. Miyamoto (2009) analyzed the Automated Meteorological Data Acquisition System (AMeDAS) data reported by the Japan Meteorological Agency in local areas and divided Hokkaido into the following four climate provinces: Cfa, humid subtropical characterized by mild climate with hot summer and no dry season; Cfb, marine west coast characterized by mild climate with warm summer and no dry season; Dfa, humid continental characterized by humid climate with severe winter, hot summer, and no dry season; and Dfb, characterized by humid climate with severe winter, warm summer, and no dry season. Moreover, numerical land data in Japan is prepared by the national government and is based on 1-km mesh climate data including temperature, precipitation, and solar radiation. This information is calculated by AMeDAS observation data, which considers topographical and urban effects on climate.

The present study area is Hokkaido, Japan, excluding the four northern territories occupied by Russia after World War II. The local climate distribution was analyzed by applying the 1-km mesh climate data for two periods: 1971–2000 and 1981–2010. Climate change during these periods was clarified by comparing the two distribution maps.

As a result, the climate in Hokkaido was classified into the following regions: temperate in the southern coastal area

<sup>1</sup> 北海道大学工学部情報エレクトロニクス学科・学部生 / Undergraduate student, School of Engineering, Hokkaido University, Japan

<sup>2</sup> 北海道大学大学院情報科学研究科 / Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University, Japan

(Cfa; Cfb; and Cs\*, which is characterized by mild climate with dry summer); continental in most part of Hokkaido including near the Sapporo metropolitan area (Dfa; Dfb; Dfc, characterized by subarctic climate with severe winter, cool summer, and no dry season; and Dwb, humid continental climate characterized by humid climate with severe, dry winter and warm summer); and a very limited Polar region near the top of the Mt. Taisetsu (ET, tundra, characterized by Polar tundra, no true summer). These results have not appeared in previous literature.

The climate divisions remained unchanged during these two periods in more than 97% of the study area. In this study, the tendency and the changes in the area of division in the remaining less than 3% area are considered.

Near the borders of main classification types and subtypes determined by Hokkaido, climate change is sensitive. As a result of analysis in the present study, the following 14 division change patterns have been determined: 1) Cfa->Cfb, 11 mesh at the west side of Oshima Peninsula; 2) Cfb->Cfa, 88 mesh at the inland of the west side of Oshima Peninsula; 3) Cfb->Cs\*, 5 mesh at the west side of the Matsumae Peninsula; 4) Cs\*->Cfb, 10 mesh at the west side of Oshima Peninsula; 5) Cfb -->Dfb, 135 mesh at the west side of Okushiri Island; 6) Dfb -->Cfb, 391 mesh near Muroran; 7) Dfb -->Cs\*, 25 mesh at Shakotan Peninsula; 8) Dfb -->Dfa, 19 mesh in Sapporo; 9) Dfb-->Dfc, 205 mesh at the highland area in Hokkaido; 10) Dfc-->Dfb, 865 mesh at the highland area in Hokkaido; 11) Dfb-->Dwb, 247 mesh at some parts of eastern Hokkaido; 12) Dwb-->Dfb, 41 mesh along the coast near Mukawa; 13) Dfc-->ET, 1 mesh near the summit of Asahidake at Mt. Taisetsu; and 14) ET-->Dfc, 1 mesh near the point of 13). Moreover, interactive change such as Cfb<-->Dfb is apparent near these classification borders; warming changes such as Dfb->Cfb are more obvious than cooling changes such as Cfb-->Dfb. In addition, temperature change is more prominent than precipitation change; dryer changes such as Dfb-->Dwb are more obvious than wetter changes such as Dwb->Dfb. Remarkable warming is apparent owing to the heat island effect, particularly in the urban area of central Sapporo. Wetter changes such as Dwb-->Dfb are distributed in several parts of eastern Hokkaido and drier changes such as Dfb-->Dwa are distributed only along the coast near Mukawa.

In this study, Hokkaido was chosen as the research area because its size allows for Koeppen climate classification to be adopted for describing global climate change. However, the result of this study can also be applied to local climate change because it includes the classification of climate-type borders. It has been determined that the main climate change around Hokkaido is warming; the reasons for this change will be considered in future work.

**キーワード**：ケッペンの気候区分，北海道，気候変動，温暖化，1 km メッシュ

**Key Words**：Koeppen climate classification，Hokkaido，climate change，warming temperature，1-km mesh data

## 1. はじめに

世界の気候区分のうち，日本の高等学校教育で中心的に教えられている区分方法は，ケッペンの気候区分である（片平ほか，2013 など）。ケッペンの気候区分は Köppen (1936) でまとめられた後も修正が重ねられ，1954 年にガイガーによる修正や，トレワースが高山気候を追加するといった修正が加えられている。ケッペンの気候区分は，日本のみならず海外の大学教養課程における教育にも頻繁に使われている（例えば，Hess and Tasa, 2013）。この気候区分は植生景観を参考とした経験的手法であり，背の高い樹木の有無と，寒暖・乾湿を組み合わせ，熱帯 (A)・乾燥帯 (B)・温帯 (C)・亜寒帯 (D)・寒帯 (E) の 5 区分に大きく分けられ，さらに気温や降水量の季節変化などにより小区分される。ケッペンの気候区分は，月平均気温と月合計降水量を用いて算出できるため，簡単に区分が可能である（水越・山下，1985）。また，植生景観とほぼ対応することから，気候を景観からイメージ可能であるという長所がある。

一方で，ケッペンの気候区分では，大陸東西の差が表現できないことや，そもそも気候ではなく植生景観にあわせた経験的な区分であり気候の成因を考慮して

いないという問題点がある。また，この気候区分は世界の広範囲を対象とすることに適している。例えば，赤道上では熱帯が，両極付近では寒帯が分布している。しかし，日本を区分すると東北から南西諸島に至る広い地域が温帯に，東北の一部から北海道に至る地域が亜寒帯に大分類される。東北地方と南西諸島が同じ気候区であることに違和感を覚える人は多いであろう。

さて，ケッペンの気候区分に限らず，気候区分を行う際に，どの期間の気候データを使用するかは，分類される地域にかかわる大きな問題となりうる。本来は最も新しい平年値を使って表現するのが望ましいと思われるが，実際には Köppen (1936) による区分がそのまま引用されることも多い。この結果，日本の高等学校教育で使用される各社の地図帳を見ると，ケッペンの気候区分図で気候区の境界線は細かな違いがみられるのが現状である。一方で，Kottek et al. (2006) や Peel et al. (2007) では，ケッペンとそれを改良したガイガーによる基準により，当時の最新の気候値を用いて更新した，気候区分図が作成されている。

こうしたケッペンの気候区分を日本に当てはめた例のうち，特に北海道に着目すると，福井 (1938) では，北海道の高山の山頂部に E，局所的だが襟裳岬

付近に Cfb があることが示されている。また、福井 (1985) では、北海道の大部分が Dfb<sup>1)</sup> であり、山岳部の大部分は Dfc、山岳部のごく一部に ET、道南の一部には Dfa もみられる。高等学校教育で使用される地図帳 (帝国書院編集部, 1984) では、北海道には Dfb のほかに ET、Cfb が示されている。ケッペンの気候区分を特に北日本に当てはめた研究としては、宮本 (2009) がある。この宮本 (2009) では、北日本の気象官署の平年値および AMeDAS における 1979 ~ 2000 年のデータを使用して、ケッペンの気候区分を適用した。その結果、北海道は Cfa・Cfb・Dfa・Dfb の 4 種類に分類されている。また、木村 (2011) では、1971 ~ 2000 年という 1 期間のメッシュ気候値を用いて、北方領土を除く北海道を対象にケッペンの気候区分を行っている。その結果、北海道の大部分は Cfa・Cfb・Dfb・Dfc に分類されているが、その他の気候区に関する言及はない。

一方、ケッペンの気候区分やその修正版を用いた気候変動の解析も行われている。Fraedrich et al. (2001) では 20 世紀に熱帯とツンドラ域で特に気候帯の変化が起こったとされる。また Gerstengarbe and Werner (2009) は 1901 ~ 2003 年のヨーロッパについて、ケッペンの気候区分の修正版 (Guetter and Kutzbach, 1990) をもとに気候変動を解析した結果、特に最後の 20 年間でステップ気候区などが増加し、大陸性の亜寒帯・寒帯気候区が減少している。Beck et al. (2005) では 1951 ~ 2000 年の平均値と 1986 ~ 2000 年の平均値によりケッペンの気候区分を CRU<sup>2)</sup> による 0.5 度グリッドデータを使って計算した。そして、各気候区間の推移について検討をおこなった結果、温暖化だけでなく乾燥化の影響も多くの地点で見られることが示されている。Rubel and Kottek (2010) は、1901 ~ 2002 年の気候観測値と 2003 ~ 2100 年の気候シミュレーション結果にケッペンの気候区分を適用した結果、寒帯から亜寒帯、亜寒帯から温帯、温帯から乾燥帯、また温帯から熱帯という温暖化の方向に 1.3 ~ 4.7% ずつ移行することが示されている。また、日本でも宮本 (2009) では、ケッペンの気候区分による解析とともに、AMeDAS データを用いる上で 1971 ~ 2000 年の平年値と 1979 ~ 2000 年の平均値を比較している。その結果、巨視的にはあまり変わらないが、詳しく見ると、やや温暖化の傾向が見られることが示されている。しかし、ケッペンの気候区分による気候区が変化したかどうかは表現されていない。

ところで、日本では月ごとの平均気温や降水量などの気候要素について、観測値から平年値を国土数値情報の第 3 次地域区画 (第 3 次メッシュ) に合わせて推定したデータが公表されている。このデータは、1971 年から 2000 年までのデータを解析した「メッシュ気候値 2000」と、1981 年から 2010 年までのデータを解析した「メッシュ平年値 2010」<sup>3)</sup> であり、気象庁により作成されている。このデータを用いると、1 km メッ

シュ<sup>4)</sup>でケッペンの気候区分を行うことが可能となる。

そこで本研究では、高等学校の地理教育で使用されているケッペンの気候区分を、1 km メッシュの気候データを使用して北海道に適用する。そして、気候区の分布の特徴を示すとともに、1971 ~ 2000 年と 1981 ~ 2010 年という 2 期間による気候区分結果を比較し、気候変動による気候区の推移について明らかにする。

## II. データと解析方法

解析に使用したデータは、気象庁による統計期間 1971 ~ 2000 年の「メッシュ気候値 2000」、ならびに統計期間 1981 ~ 2010 年の「メッシュ平年値 2010」である。このメッシュ気候値 (平年値) は、地形因子と都市因子の影響を考慮した重回帰分析により、気象官署やアメダス観測地点による観測値を 1 km メッシュとなる第 3 次地域区画に合わせて推定したデータであり、北海道では北方領土を除く地域が収録されている。このメッシュ気候値 (平年値) データには、観測地点の経緯度を示す標準地域メッシュの第 3 次メッシュコードに加え、各観測地点における気温の日平均値を月 (年) 平均した平均気温、日最高値を月 (年) 平均した日最高気温、日最低値を月 (年) 平均した日最低気温、降水量の月 (年) 合計値、積雪の深さの最大値を示した最深積雪、日照時間の月 (年) 合計値、全天日射量の日積算量を月 (年) 平均したものが収録されている。

このデータを用いて、北方領土を除く北海道 (全 84,472 メッシュ) の各月の平均気温と降水量からケッペンの気候区分を行った。ケッペンの気候区分は、図 1 に示したフローチャートにしたがって、まず ET・Dw・Df・Cf・Cs\* に区分した。ケッペンの気候区分における Cs には Köppen (1936) による修正で、夏季の最少雨月降水量 30 mm 未満という条件が加えられている。しかし、冬の降水量の変化について特に着目して、本研究では図 1 に示したように、この修正が行われる以前の気候区分を使用し、その結果確認された気候区を Cs\* とした。なお、Dw・Df・Cf については、さらに詳細な気温の解析を付加することにより Dwb・Dfa・Dfb・Dfc・Cfa・Cfb に区分した。Dfa・Cfa と区分されたメッシュは、最暖月平均気温が 22℃ 以上のメッシュである。Dwb・Dfb・Cfb と区分されたメッシュは、最暖月平均気温が 22℃ 未満で、10℃ 以上の月が少なくとも 4 ヶ月確認されたメッシュである。Dfc と区分されたメッシュは、最寒月平均気温が -38℃ 以上で、10℃ 以上の月が 4 ヶ月未満のメッシュである。以上の解析を 2 期間のデータに対して行い、この期間の気候変動による気候区の変化を明らかにする。

## III. 解析結果

### 1. ケッペンの気候区分による気候区

図 2 に統計期間 1971 ~ 2000 年のデータ、図 3 には

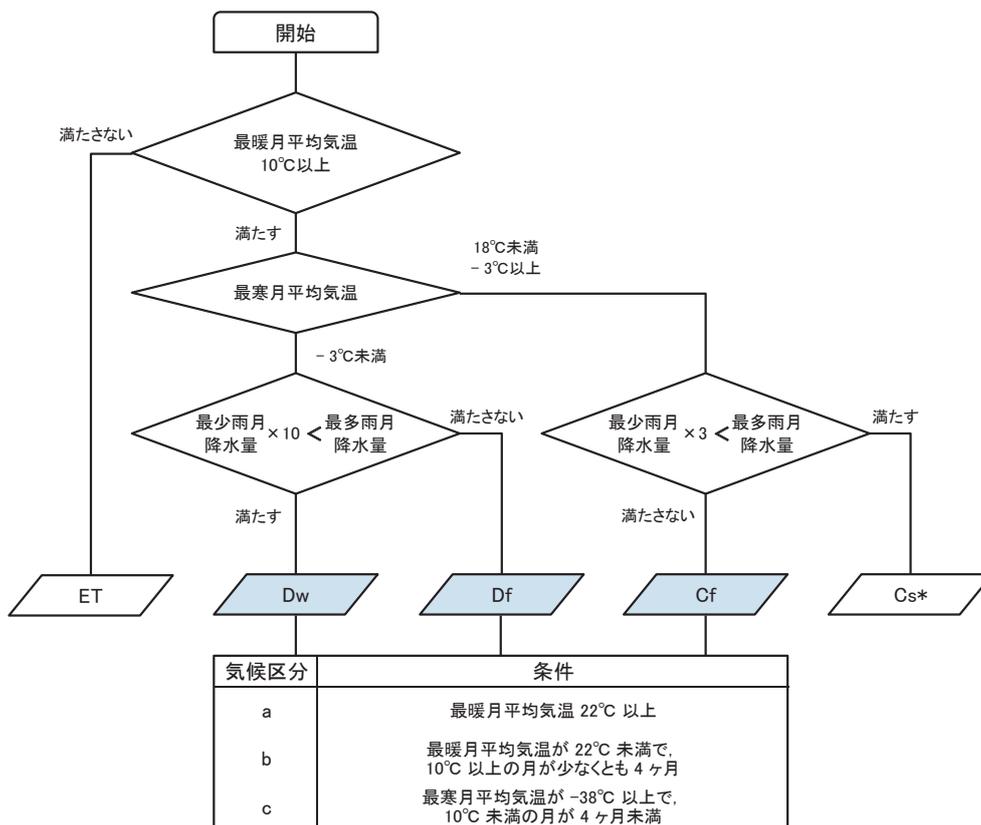


図1 ケッペンの気候区分を用いた区分のフローチャート

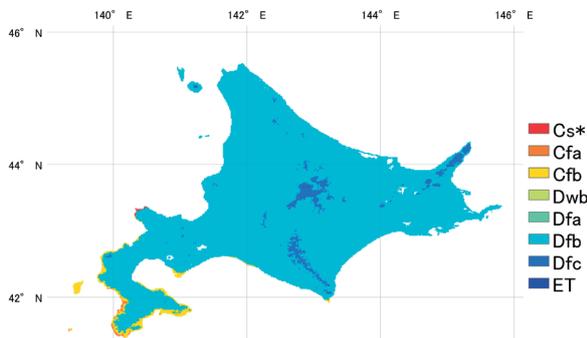


図2 1971～2000年における北海道の気候区

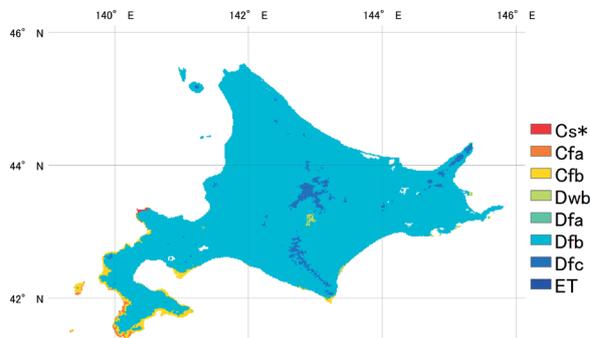


図3 1981～2010年における北海道の気候区

統計期間 1981～2010年のデータを用いたケッペンの気候区分結果を示した。1971～2000年のデータを用いた図2を見ると、北海道はDfbに区分される地域が広く分布している。襟裳や室蘭、道南の沿岸部や奥尻島にはCfbが見られ、さらに渡島半島から松前半島にかけての西岸にはCfa、積丹半島の先端部にはCs\*が見られる。石狩山地、夕張山地、日高山脈、知床などの標高が高い地域はDfcになり、大雪山旭岳の山頂付近ではわずかであるがETも確認された。また、札幌市内中心部ではDfaが見られた。この図を木村(2011)と比較すると、木村(2011)ではメッシュ数が非常に少ないCs\*・Dwb・Dfa・ETが省略されていることがわかる。

一方、1981～2010年のデータを用いた図3でも北海道全域にDfbが広く見られる地域は巨視的には変

わらない。しかし、詳細に2期間の気候区分図を比較すると道内全域の標高の高い地点に分布していたDfcが縮小していることや、襟裳や室蘭付近においてCfbが拡大していることから、温暖化の傾向がみられる。

		1981～2010年							合計	
		Cs*	Cfa	Cfb	Dwb	Dfa	Dfb	Dfc		ET
1971～2000年	Cs*	29		10						39
	Cfa		159	11						170
	Cfb	5	88	1453			135			1681
	Dwb				6		41			47
	Dfa					1				1
	Dfb	25		391	247	19	78371	205		79258
	Dfc						865	2405	1	3271
	ET							1	4	5
合計		59	247	1865	253	20	79412	2611	5	84472

図4 1971～2000年と1981～2010年の2期間におけるケッペンの気候区分により区分されたメッシュ数



図5 Cfa から Cfb へ変化したメッシュの分布

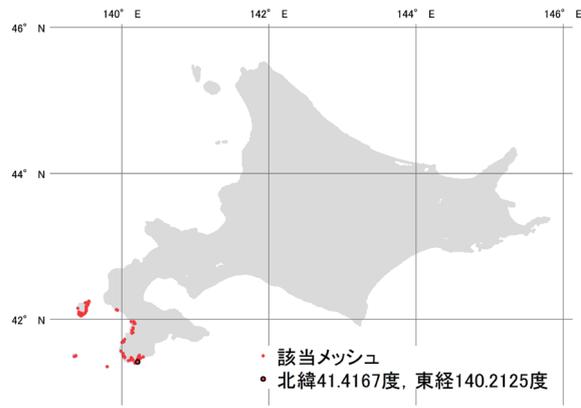


図6 Cfb から Cfa へ変化したメッシュの分布

表1 Cfa から Cfb へ変化したメッシュ(北緯42度, 東経140.1度)の気温変化(単位:℃)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
1971～2000年	-2.1	-1.7	1.2	6.5	10.8	15.5	19.8	22.0	17.9	12.1	5.8	0.7	9.0
1981～2010年	-1.8	-1.5	1.4	6.9	11.3	15.7	19.6	21.9	18.1	12.2	6.0	0.6	9.2

表2 Cfb から Cfa へ変化したメッシュ(北緯41.4167度, 東経140.2125度)の気温変化(単位:℃)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
1971～2000年	-1.3	-1.2	1.7	6.8	11.1	15.2	19.5	21.8	18.5	13.0	6.8	1.4	9.4
1981～2010年	-0.9	-0.7	2.2	7.2	11.6	15.4	19.4	22.0	18.9	13.0	7.1	1.6	9.7

こうした気候区の変化を次節では個別に見ていくこととする。

## 2. 気候変動に伴う気候区の変化

前節では、1971～2000年と1981～2010年の2期間における気候区分をおこなった。その結果、2つの期間で気候区が変化したメッシュに着目し、その特徴と分布を明らかにする。

まず、2期間における気候区ごとのメッシュ数についてクロス集計を行った(図4)。図4では、各行が1971～2000年のデータを用いて区分された気候区、各列が1981～2010年のデータを用いて区分された気候区を示している。網掛け部分は、2つの期間で区分が変化しなかったメッシュ数である。図4をみると、2期間ともDfbのまま変化しなかったメッシュが78,371(北海道全体の92.8%)と最多であった。それぞれの気候区のメッシュ数に着目すると、ETは増減無し、Dfcは減少、それ以外の気候区ではメッシュ数は増加している。北海道内で比較的温暖な気候を示す気候区のメッシュ数が増加していることが分かった。

以下の各項では、それぞれの変化パターンについて詳しく見ていくことにする。

### (1) Cfa から Cfb への変化

Cfa から Cfb への変化は、図5のように渡島半島の西部など11メッシュで見られた。メッシュ数としては少なく、この変化はあまり目立ったものではない。Cfa と Cfb の境界は、最暖月平均気温が22.0℃に達するかかどうかというものであり、表1に示した北緯42度、東経140.1度のメッシュでは、最暖月8月の平均

気温が1971～2000年には22.0℃だったが、1981～2000年には21.9℃に下がった。この結果、Cfa から Cfb へと変化している。

### (2) Cfb から Cfa への変化

前項(1)とは逆に、Cfb から Cfa へ変化した場所は、図6のように渡島半島の西岸からわずかに内陸部に入ったところ、および奥尻島の沿岸部などである。変化したメッシュ数は88で、前項(1)で示されたCfa から Cfb に変化したメッシュ数と比較すると、多くのメッシュでこの変化が確認された。表2に示した北緯41.4167度、東経140.2125度のメッシュでは最暖月(8月)の平均気温が21.8℃(1971～2000年)から22.0℃(1981～2010年)に上昇しており、Cfb から Cfa に変化している。渡島半島西岸付近が最暖月平均気温22.0℃前後となっているために、Cfa から Cfb への変化はこの付近に集中している。

### (3) Cfb から Cs\* への変化

Cfb から Cs\* に変化した場所は、図7のように積丹半島と、函館半島の付け根付近にそれぞれ1メッシュずつ、松前半島の西部に3メッシュの計5メッシュのみで確認された。積丹半島や松前半島西部には1971～2000年にもCs\*の分布が確認でき、これらの範囲が広がったと言える。Cs\*気候区に分類されるのは、C気候区に区分されることに加えて最多雨月降水量<sup>5)</sup>が最少雨月降水量の3倍を超えた場合である。例えば、表3に示した北緯41.55度、東経140.0125度のメッシュでは、1971～2000年には最多雨月(8月)の降水量が175.4mm、最少雨月(6月)の降水量が76.4mmであったが、1981～2010年には最多雨月(8月)



図7 Cfb から Cs\* へ変化したメッシュの分布

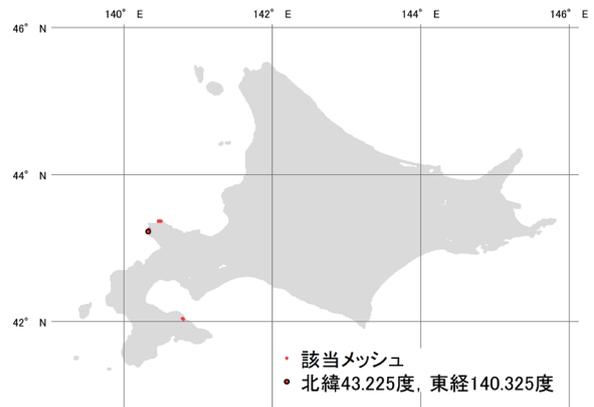


図8 Cs\* から Cfb へ変化したメッシュの分布

表3 Cfb から Cs\* へ変化したメッシュ (北緯 41.55 度, 東経 140.0125 度) の降水量変化 (単位: mm)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年合計
1971～2000年	116.3	100.0	94.1	124.9	134.9	76.4	155.7	175.4	154.6	127.8	153.3	128.2	1541.6
1981～2010年	132.3	84.8	84.2	114.6	133.1	65.1	172.1	211.3	176.9	146.9	152.1	118.3	1591.7

表4 Cs\* から Cfb へ変化したメッシュ (北緯 43.225 度, 東経 140.325 度) の降水量変化 (単位: mm)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年合計
1971～2000年	126.7	84.4	72.4	51.8	70.8	52.7	92.9	116.8	144.1	150.1	158.7	138.2	1259.6
1981～2010年	133.9	80.8	62.5	53.1	63.1	51.2	106.6	122.1	126.7	140.0	149.4	128.8	1218.2

の降水量が 211.3 mm, 最少雨月 (6月) の降水量は 65.1 mm となっている。最多雨月の降水量が増加し, 最少雨月の降水量が減少したことにより, 最多雨月降水量が最少雨月降水量の3倍を超えたため, Cfb から Cs\* へと気候区が変化した。

#### (4) Cs\* から Cfb への変化

Cs\* から Cfb に変化している場所は, 図8に示した通り, 積丹半島の先端部と, 渡島半島東部である。前項(3)において積丹半島の先端部で逆の変化が見られていることから, この地域は Cs\* と Cfb の境界付近にあると考えられる。この変化が確認されたのは10メッシュである。表4に示した北緯 43.225 度, 東経 140.325 度のメッシュでは, 1971～2000年には最少雨月(4月)降水量は 51.8 mm, 最多雨月(11月)降水量は 158.7 mm となっている。これに対して, 1981～2010年には最少雨月(4月)の降水量が 53.1 mm にわずかではあるが増加し, 最多雨月(11月)降水量は 149.4 mm にやや減少している。月ごとの降水量が平均化されたことにより, Cs\* から Cfb に変化した。

#### (5) Cfb から Dfb への変化

Cfb から Dfb に変化している場所は, 図9に示した渡島半島海岸に沿った少し内陸部と, 奥尻島中西部に135メッシュ観測された。大区分である C 気候区と D 気候区の境界は, 最寒月平均気温  $-3^{\circ}\text{C}$  である。表5に示した北緯 42.15 度, 東経 139.4375 度のメッシュでは, 1971～2000年は最寒月(1月)の気温が  $-2.7^{\circ}\text{C}$  であったが, 1981～2010年には最寒月(1月)の気温は  $-3.4^{\circ}\text{C}$  に低下したため, Cfb から Dfb へと, 気候区の大区分が変化した。なお, このメッシュでは, 2

月の気温も  $-2.4^{\circ}\text{C}$  から  $-3.2^{\circ}\text{C}$  と  $-3^{\circ}\text{C}$  未満に下がっている。平均気温はどちらの期間においても  $7.2^{\circ}\text{C}$  と変化がないため, 気温の年較差が大きくなったことが分かる。

#### (6) Dfb から Cfb への変化

前項(5)とは逆に, Dfb から Cfb へ変化した場所は, 図10に示したように積丹半島から松前半島にかけて, 道南の海岸線から少し内陸に入った場所と, 室蘭, 浦河, 襟裳付近に分布している。また, 1メッシュだけではあるが, 雄冬付近にも分布が確認された。メッシュ数は391と, 逆の変化を示す前項(5)よりも多くのメッシュ数が確認された。表6に示した北緯 42.3583 度, 東経 141.0125 度のメッシュでは, 最寒月(1月)平均気温が  $-3.1^{\circ}\text{C}$  から  $-2.3^{\circ}\text{C}$  へと  $0.8^{\circ}\text{C}$  も上昇している。最寒月平均気温が  $-3^{\circ}\text{C}$  以上になったため, Dfb から Cfb に気候区の大区分が変化したといえる。また, このメッシュは夏季と比較して冬季に大きな気温の上昇傾向を示しており, 年平均気温についても  $7.9^{\circ}\text{C}$  (1971～2000年) から  $8.4^{\circ}\text{C}$  (1981～2010年) に  $0.5^{\circ}\text{C}$  の大幅な上昇をしている。

#### (7) Dfb から Cs\* への変化

Dfb から Cs\* に変化した場所は, 図11に示したように積丹半島に分布している。この変化は25メッシュで見られた。積丹半島には北部海岸沿いを中心に2期間とも Cs\* に区分される地域があり, Cs\* が拡大している。気温について, 表7に示した北緯 43.325 度, 東経 140.45 度の地点では最寒月(1月)の平均気温が  $-3.1^{\circ}\text{C}$  (1971～2000年) から  $-2.7^{\circ}\text{C}$  (1981～2010年) に上昇しており, D 気候区から C 気候区へ気候の大

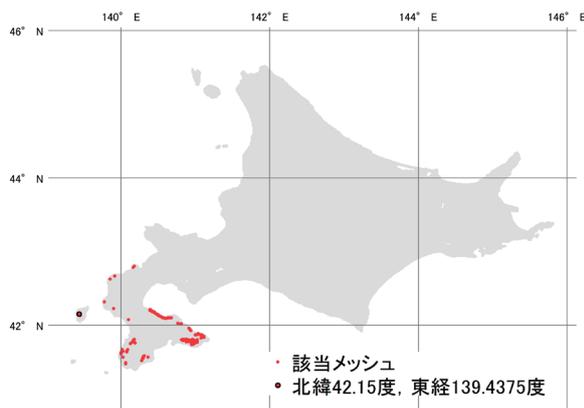


図9 Cfb から Dfb へ変化したメッシュの分布

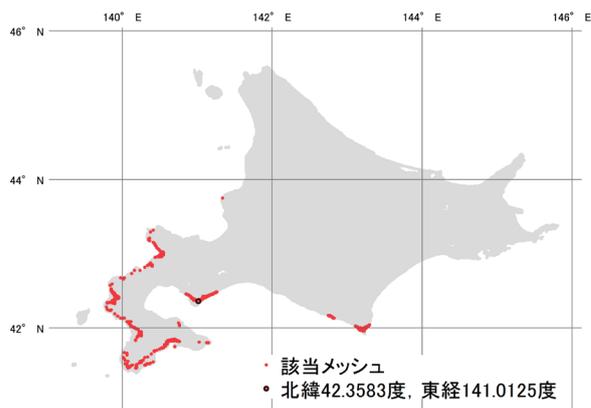


図10 Dfb から Cfb へ変化したメッシュの分布

表5 Cfb から Dfb へ変化したメッシュ (北緯 42.15 度, 東経 139.4375 度) の気温変化 (単位: °C)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
1971～2000年	-2.7	-2.4	-0.7	4.0	8.2	12.0	16.6	19.0	16.2	11.4	5.0	-0.2	7.2
1981～2010年	-3.4	-3.2	-0.4	4.4	8.4	12.4	16.9	19.4	16.7	11.5	4.7	-1.0	7.2

表6 Dfb から Cfb へ変化したメッシュ (北緯 42.3583 度, 東経 141.0125 度) の気温変化 (単位: °C)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年合計
1971～2000年	-3.1	-2.9	0.0	5.1	10.2	13.7	18.0	20.1	17.3	11.8	5.2	-0.3	7.9
1981～2010年	-2.3	-2.4	0.8	5.7	10.5	14.0	17.9	20.4	17.8	12.3	5.7	0.1	8.4

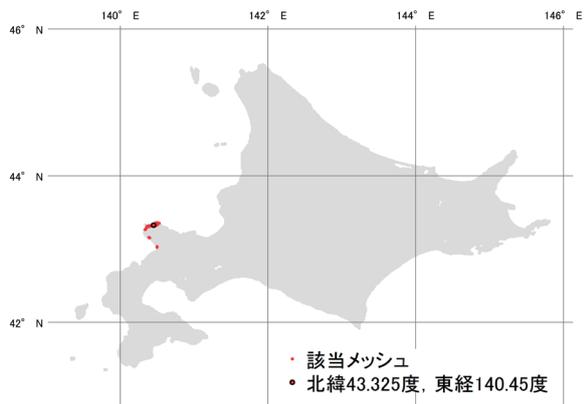


図11 Dfb から Cs\* へ変化したメッシュの分布

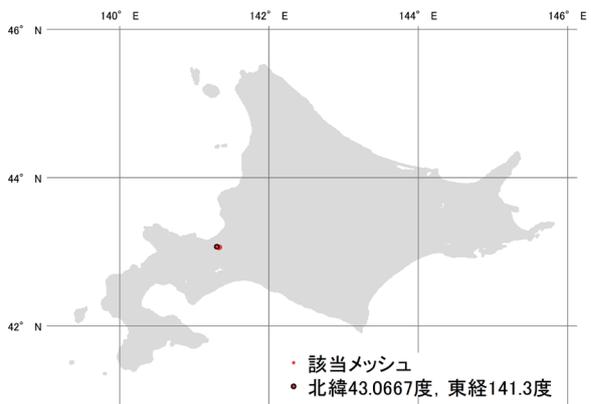


図12 Dfb から Dfa へ変化したメッシュの分布

表7 Dfb から Cs\* へ変化したメッシュ (北緯 43.325 度, 東経 140.45 度) の気温変化 (単位: °C)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
1971～2000年	-3.1	-2.7	0.2	5.7	10.5	14.4	18.8	20.6	16.9	11.1	4.5	-0.6	8.0
1981～2010年	-2.7	-2.6	0.5	5.8	10.3	14.3	18.5	20.6	16.9	11.6	4.8	-0.6	8.1

表8 Dfb から Cs\* へ変化したメッシュ (北緯 43.325 度, 東経 140.45 度) の降水量変化 (単位: mm)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年合計
1971～2000年	180.6	129.1	105.7	56.2	72.1	51.6	84.2	137.3	172.4	187.1	190.9	186.8	1554.0
1981～2010年	202.2	124.2	99.2	59.4	66.0	49.9	116.2	126.0	130.0	194.0	195.1	204.2	1566.4

表9 Dfb から Dfa へ変化したメッシュ (北緯 43.0667 度, 東経 141.3 度) の気温変化 (単位: °C)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
1971～2000年	-4.4	-3.9	-0.1	6.4	11.9	16.1	20.3	21.7	17.3	11.2	4.5	-1.4	8.3
1981～2010年	-4.0	-3.3	0.4	6.9	12.3	16.4	20.2	22.0	17.9	11.5	4.8	-1.2	8.7

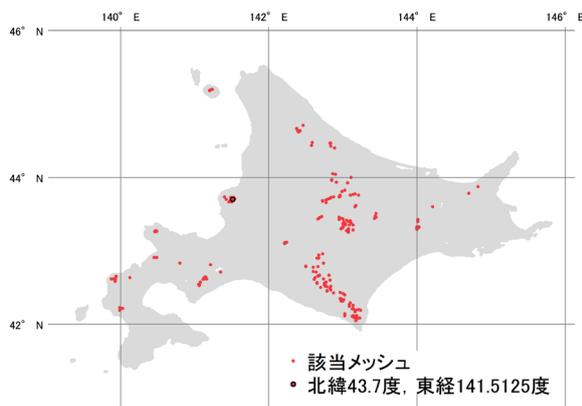


図13 Dfb から Dfc へ変化したメッシュの分布

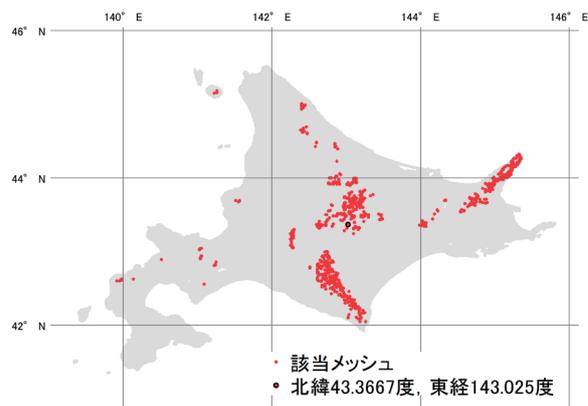


図14 Dfc から Dfb へ変化したメッシュの分布

表10 Dfb から Dfc へ変化したメッシュ (北緯 43.7 度, 東経 141.5125 度) の気温変化 (単位: °C)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
1971～2000年	-10.7	-10.9	-7.9	-0.4	4.8	10.1	14.8	15.1	10.1	4.7	-2.1	-7.5	1.7
1981～2010年	-10.8	-10.7	-7.5	-1.0	4.7	9.7	14.3	15.2	10.3	4.4	-2.4	-7.8	1.5

表11 Dfc から Dfb へ変化したメッシュ (北緯 43.3667 度, 東経 143.025 度) の気温変化 (単位: °C)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
1971～2000年	-12.7	-12.6	-8.5	-0.8	4.9	9.8	13.9	14.3	10.1	3.9	-3.0	-9.1	0.9
1981～2010年	-12.1	-11.6	-6.8	-0.2	6.1	10.2	14.2	15.2	10.8	4.7	-2.1	-8.6	1.7

区分が変化している。降水量については、表8に示したように、1971～2000年は最少雨月(6月)降水量が51.6mm、最多雨月(11月)降水量が190.9mmと夏季乾燥型の基準を満たしているが、本研究ではD気候区について夏季乾燥型のDsを区分しておらず(図1)、Dfbと判定されている。また、同じメッシュで1981～2010年には最少雨月(6月)降水量が49.9mm、最多雨月(12月)降水量が204.2mmと、降水の年較差が大きくなり夏季乾燥型の傾向は強まったものの、気候区分における夏季乾燥型の判定には影響していない。

### (8) Dfb から Dfa への変化

Dfb から Dfa に変化した場所は図12に示したようにすべて札幌市内に分布している。この変化は1971～2000年の観測で唯一Dfaであった1メッシュを中心に19メッシュで観測されるようになった。表9より、この変化が認められた北緯43.0667度、東経141.3度のメッシュでは最暖月(8月)平均気温が21.7°C(1971～2000年)から22.0°C(1981～2010年)に上昇しており、小区分でb気候区からa気候区に変わったことが分かる(図1)。分布がすべて都市化の進んだ札幌市内であることから、都市気候の影響を強く受けた気候区の変化と言える。

### (9) Dfb から Dfc への変化

Dfb から Dfc に変化した場所は図13に示したように、大雪山や日高山脈、暑寒別岳など、標高が高い地域で北海道全域に見られる。メッシュ数は205である。Df気候区の小分類では、月平均気温10°C以上の月が4ヶ月以上存在すればb気候区、3ヶ月以下であれば

c気候区と判別される。表10に示したように、この変化区分に該当する北緯43.7度、東経141.5125度のメッシュは、1971～2000年に月平均気温10°C以上となったのは、6～9月の4ヶ月であったが、1981～2010年には、6月の平均気温が10.1°Cから9.7°Cへ下がった。このため、月平均気温が10°C以上となったのは7～9月の3ヶ月に減少した。同様の変化が見られた場所では、DfbからDfcに変化した。

### (10) Dfc から Dfb への変化

前項(9)とは逆の変化である、DfcからDfbに変化したメッシュ数は、前項(9)と比較して4倍以上、全地点数の約1%に相当する865であり、気候区が変化したパターンでは最大のメッシュ数になっている。変化した場所は図14に示したように、大雪山、日高山脈、知床山脈、夕張山地などで特に多く見られ、その他道北、道央の標高が高いメッシュでも確認される。表11に示した北緯43.3667度、東経143.025度のメッシュについて、1971～2000年には7～9月の3ヶ月にわたって月平均気温が10°C以上となっていたが、6月の平均気温が9.8°Cから10.2°Cに上昇したことにより、6～9月の4ヶ月にわたって月平均気温が10°C以上となった。小区分であるb気候区とc気候区の境界は月平均気温10°C以上の月数で定義される(図1)。この地域では7～9月という3ヶ月の月平均気温は10°Cを超えているため、b気候区とc気候区の境界付近では6月の月平均気温が10°Cを超えるかどうか重要な指標になっている。

### (11) Dfb から Dwb への変化

Dfb から Dwb に変化した場所は、図15に示したよ

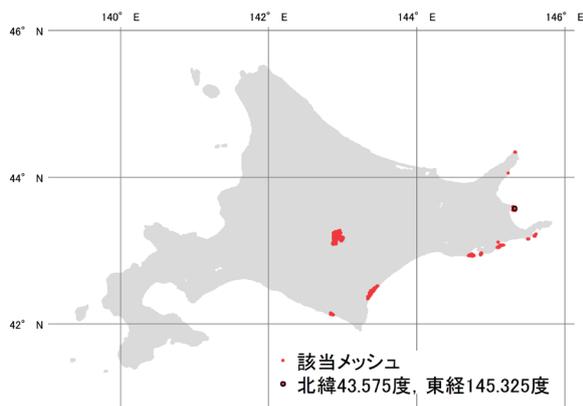


図15 Dfb から Dwb へ変化したメッシュの分布

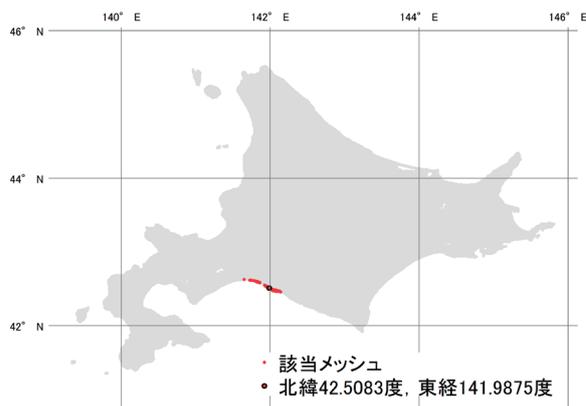


図16 Dwb から Dfb へ変化したメッシュの分布

表 12 Dfb から Dwb へ変化したメッシュ（北緯 43.575 度，東経 145.325 度）の降水量変化（単位：mm）

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年合計
1971～2000年	50.1	39.6	58.9	74.2	108.4	101.2	112.6	128.9	166.9	120.7	88.5	53.3	1103.3
1981～2010年	34.5	15.9	45.8	76.7	100.1	96.3	126.1	130.9	178.4	95.4	81.8	64.0	1045.9

表 13 Dwb から Dfb へ変化したメッシュ（北緯 42.5083 度，東経 141.9875 度）の降水量変化（単位：mm）

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年合計
1971～2000年	19.4	15.9	40.7	74.6	96.2	77.1	117.3	176.9	130.1	84.7	80.5	37.2	950.6
1981～2010年	24.3	18.3	39.1	70.2	98.4	73.5	135.4	176.6	130.0	81.6	74.8	38.6	960.8

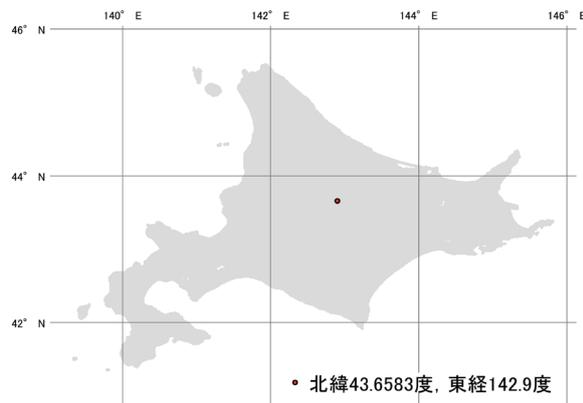


図17 Dfc から ET へ変化したメッシュの分布

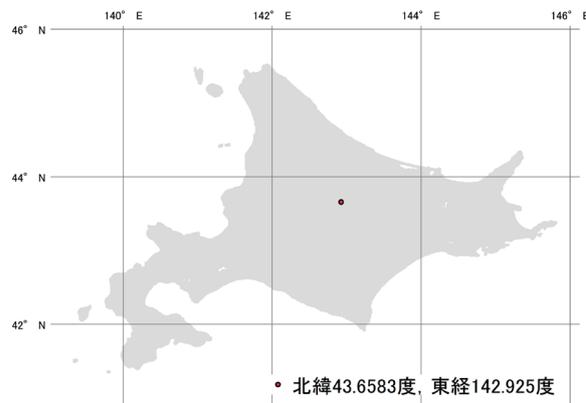


図18 ET から Dfc へ変化したメッシュの分布

表 14 Dfc から ET へ変化したメッシュ（北緯 43.6583 度，東経 142.9 度）の気温変化（単位：℃）

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
1971～2000年	-17.8	-17.4	-14.7	-5.8	-0.5	5.5	10.1	9.6	4.2	-1.1	-8.5	-13.8	-4.2
1981～2010年	-16.8	-17.3	-14.0	-6.7	-0.7	5.0	9.8	9.8	4.3	-1.8	-8.4	-14.0	-4.2

表 15 ET から Dfc へ変化したメッシュ（北緯 43.6583 度，東経 142.925 度）の気温変化（単位：℃）

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
1971～2000年	-18.0	-17.6	-15.0	-6.0	-0.8	5.3	9.9	9.4	4.3	-0.9	-8.4	-13.9	-4.3
1981～2010年	-16.2	-16.6	-12.8	-6.0	0.0	5.8	10.4	10.5	5.4	-1.0	-7.3	-13.3	-3.4

うに知床半島、根室半島の沿岸部にみられるいくつかのメッシュのほか、野付半島、霧多布、厚岸、湧洞沼付近、三石付近、狩勝峠付近など247メッシュに分布している。図1に示されるように最少雨月が冬季にみられる場合は、最多雨月降水量が最少雨月降水量の10倍を超えた場合に気候の中区分でw型と判別される。表12に示した北緯43.575度、東経145.325度のメッシュでは、1971～2000年に最少雨月(2月)降水量が39.6mm、最多雨月(9月)降水量が166.9mmであった。一方、1981～2010年は最少雨月(2月)降水量が15.9mmと大きく減少している。最多雨月(9月)降水量は178.4mmとやや増えているが、最少雨月降水量の大幅な減少により、DfbからDwbに気候区が変化した。

#### (12) DwbからDfbへの変化

図16に示したように、鶴川付近の海岸線に沿った地域にのみ確認されたのがDwbからDfbへと変化したパターンである。局地的な分布であり、メッシュ数は41と比較的少ない。表13に示したように、この変化を示す北緯42.5083度、東経141.9875度のメッシュでは最少雨月(2月)降水量は1971～2000年では15.9mmだったが、1981～2010年では18.3mmに、最多雨月(8月)降水量は1971～2000年の176.9mmから、1981～2010年には176.6mmへそれぞれ変化している。最多雨月降水量の変化はごくわずかであるが、最少雨月降水量が増加したことにより、冬季乾燥型のDwbから年中降水型のDfbに変化した。

前項(11)とは逆方向の気候区の変化であるが、DwbからDfbへ変化している地域は限定的であり、メッシュ数も少ない。

#### (13) DfcからETへの変化

図17に示した大雪山旭岳山頂付近に1メッシュのみ、DfcからETに変化したメッシュが確認された。表14に示した北緯43.6583度、東経142.9度のメッシュでは最暖月(7月)平均気温が1971～2000年の10.1℃から、1981～2010年の9.8℃に下がった。このように最暖月平均気温が10℃を下回ったことにより、気候区の大区分がD気候区からE気候区へと変化した。ETに区分されるようになった。

#### (14) ETからDfcへの変化

前項(13)で示されたメッシュと非常に近い、図18で示した大雪山旭岳山頂付近、北緯43.6583度、東経142.925度のメッシュでは、表15に示したように1971～2000年の最暖月(7月)平均気温は9.9℃であり、1981～2010年の最暖月(8月)平均気温は10.5℃と上昇している。このメッシュでは、最暖月の平均気温が10℃を超えるというE気候区からD気候区への気候区の大区分の変化が生じたため、ETからDfcに区分が変化した。

### IV. 考察

本研究では、北方領土を除く北海道全体について、ケッペンの気候区分を第3次地域区分(1kmメッ

シュ)で適用した。その結果、第III章に示したように、大部分の地域がDfbに分類され、山岳部や海岸沿いの一部などでその他の気候区に分類された。これは宮本(2009)により、気象官署やAMeDAS観測点のデータを使って解析された結果と同様である。しかし、本研究では、1kmメッシュデータを使用することにより宮本(2009)では示されなかったCs\*・Dwb・Dfc・ETの場所が北海道内にあることを見いだした。また、木村(2011)でも記述の無かったCs\*・Dwb・Dfa・ETが少数ながらみられることもわかった。新たに見いだした気候区のうちCs\*・Dwbの2つに関しては、気候区分類基準が降水量によるものであり、降水量の影響によるケッペンの気候区分の変化を北海道内で把握することができた。

Köppen(1936)におけるCsには、図1のフローチャートでCs\*に区分される条件に加えて、夏の最少雨月降水量30mm未満という条件が示されている。この条件により、Csは夏季に乾燥して、降水量の年較差が大きい地域を示す気候区になっている。また、本研究ではこの条件を適用せず、Cs\*として区分を行った。Cs\*に区分された積丹半島先端部などは、冬季の降水量が多く、降水量の年較差が大きい地域だと言える。

北海道の大部分を占めるDfbのほかは、渡島半島から松前半島にかけての西岸にCfa、襟裳・室蘭・奥尻島・道南の沿岸部にCfb、石狩山地・夕張山地・日高山脈・知床などの山岳部にはDfcの存在が確認できたほか、積丹半島の先端部にCs\*、道東および鶴川付近の一部でDwb、札幌市内でDfa、大雪山の頂上付近にはETが見られた。第I章で述べたとおり、ケッペンの気候区分は植生景観とほぼ対応する。大雪山の頂上付近にはETが分布しており、この付近には永久凍土の存在が確認されている(福田・木下、1974)。

気候区の境界について、C気候区とD気候区の境界は最寒月平均気温-3℃であり、D気候区とE気候区の境界は最暖月平均気温10℃である。ケッペンの気候区分の小区分であるa気候区とb気候区の境界は最暖月平均気温22℃である。1981～2010年のデータを用いて作成した等温線図を図19に示した。図19より、C気候区とD気候区の境界が道南の海岸線に沿った内陸部に、D気候区とE気候区の境界が大雪山の頂上付近に位置していることが分かった。図20には、1981～2010年の平年値のうち6月の平均気温が10℃未満のメッシュを赤色で示した。10℃未満の月が4ヶ月以上存在するかどうかの小区分のb気候区とc気候区の境界であり、図3と比較すると、北海道内では6月の平均気温10℃がケッペンの気候区分の境界とほぼ一致していることが分かった。北海道内にさまざまな気候区の境界が存在していることから、2期間における気温と降水量の違いが気候区の変化に反映されている。また、宮本(2009)は、大雪山小泉岳の気温観測データと上川町のAMeDASデータから標高1,200～1,300mがDfbとDfcの境界になっている可能性

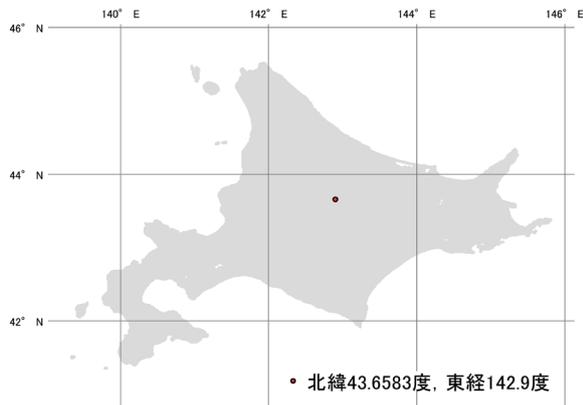


図19 最寒月平均気温 -3℃, 最暖月平均気温 10℃, 22℃の等温線

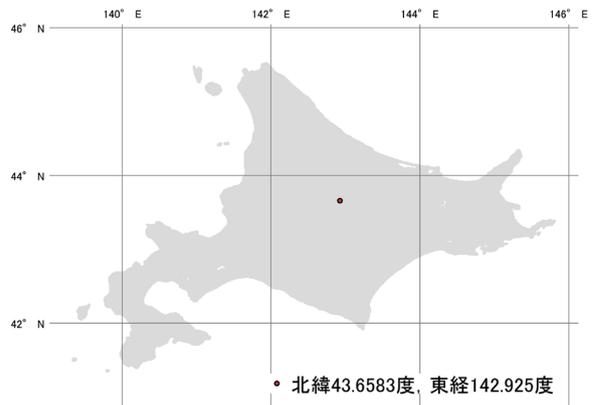


図20 6月平均気温 10℃未満であるメッシュの分布

を示唆しているが、この地域における 1,200 m の等高線に着目すると、Dfb と Dfc の境界線に近いことが確認できたことから、本研究でも支持できる。

ところで、ケッペンの気候区分は、もともと世界全国など広範囲を対象とした区分に適用されることが多く、小地域の気候区分には向かないとされてきた。Trewartha and Horn (1980) では、アメリカ合衆国本土における気候区分の年々変化の図が示されており、年ごとに境界線が 100 km 以上移動することが示されている。一方で、本研究では 2 期間の 30 年平均値を解析に用いているため、年々変化という細かな変化は平均化されている。にもかかわらず、気候区の境界付近では 2 つの期間で変化を見せている。こうした傾向は、もちろん世界地図レベルでの大都市でも起こりうる変化である。気候区は不変のものではなく、同じ基準を用いて気候区分を行っても、気候の平年値の変化により気候区も変化することはありえる。つまり、気候区の境界においては、気候変動の影響を繊細に受け、気候区の変化として明示されやすい。これはヨーロッパ全域を対象とした Gerstengarbe and Werner (2009) における解析結果とも一致する傾向である。

こうして考えると、今回、北海道という小地域で、かつ、1 km メッシュデータを用いた解析ではあるものの、ケッペンの気候区で温暖化の傾向を示す場所が多かったことは、無視すべき傾向ではないと思われる。また、この傾向は文部科学省ほか (2013) により示されている結果とも調和的である。一方で、降水量の影響による気候区の変化がみられた地域は限られた範囲であるが、道東で乾燥化、鶴川付近で湿潤化の傾向が見られた。

なお、先にも述べたように、北海道で気候区の変化が見られたのは気候区の境界付近の一部にすぎず、北海道の大部分 (97.6%) では気候区の変化は見られなかったことを再認識しておく必要がある。

## V. まとめ

本研究では、1 km メッシュデータを用いて北海道にケッペンの気候区分を適用した結果、北海道内には、

Cs\*・Cfa・Cfb・Dwb・Dfa・Dfb・Dfc・ET という 8 つの気候区が存在することが分かった。そして、1971～2000 年と、1981～2010 年という 2 期間で同様の解析を行い、メッシュごとの気候区の変化が把握でき、北海道の気候変動による影響の一端をうかがい知ることができた。すなわち、寒冷化よりも温暖化の方向性が強いこと、降水量の変化は限定的であることが示され、従来から他の手法で行われてきた研究と調和的であった。

ケッペンの気候区分は本来、世界全体の気候区分を行う場合に適しており、北海道の中での気候区分など小地域の気候区分には向かないとされてきた。これは、小地域内では地球規模の気候区の違いが現れにくいと考えられるからである。しかし、あえて北海道という比較的小さな地域で適用した結果、北海道内にも多くの気候区を見いだすことができ、気候区の境界線の移動から気候変動の一部を把握することができた。これは、北海道にはケッペンの気候区分の C 気候区と D 気候区の境界が道南に、また D 気候区と E 気候区の境界が大雪山の頂上付近に位置しているなど、気温や降水の変動が気候区の変化に敏感に反応する地域があることを示している。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、北海道大学大学院情報科学研究科システム情報科学専攻 (北海道大学工学部情報エレクトロニクス学科システム情報コース) システム共創情報学研究室の各位には、研究環境の構築などでお世話いただいた。また、平成 25 年度北海道地理学会春季学術大会の口頭発表時には、参加者から有益なコメントをいただいた。記して謝意を表したい。

## 注

- 1) ケッペンの気候区分により区分された気候区は、図 1 などに示したようにアルファベットを使って表記する。
- 2) 英国東アングリア大学気候研究ユニット (Climate Research Unit)
- 3) 「気候値」と「平年値」という名称の違いは、2010 年にはアメダス観測所が観測を開始してから 30 年を超え、30 年

平均を意味する「平年値」という用語が使えるようになったためである。

- 4) 本研究で使用する2種類のデータ「メッシュ気候値2000」, 「メッシュ平年値2010」とも, 説明書には1 km メッシュと書かれているため, 本論文では「1 km メッシュ」と表記する。しかし, 本来は第3次地域区画を使用しているため, 正確な1 km メッシュではない。札幌市付近を例にとると, 緯度方向が1018 m, 経度方向が926 mとなっており, 面積は約0.943 km<sup>2</sup>である。
- 5) 「最多雨月降水量」「最少雨月降水量」という用語は, 北海道のように冬季に雨ではなく雪として降水が見られる地域でもこのまま用い, 「最多降水月降水量」「最少降水月降水量」とは言わない。

## 文献

- 片平博文・矢ヶ崎典隆・内藤正典・戸井田克己・友澤和夫・永田淳嗣・須貝俊彦・丸川知雄・木村圭司 (2013): 『新詳地理B』 帝国書院。
- 木村圭司 (2011): II 北海道の地域性. 3. 自然環境. 2) 気候. 山下克彦・平川一臣 編著: 『日本の地誌3 北海道』 朝倉書店, 35-37.
- 帝国書院編集部 編 (1984): 『新詳高等社会科地図一初訂版一』 帝国書院。
- 福井英一郎 (1938): 『気候学』 古今書院。
- 福井英一郎 編 (1985): 『日本・世界の気候図』 東京堂出版。
- 福田正己・木下誠一 (1974): 大雪山の永久凍土と気候環境 (大雪山の事例とシベリア・アラスカ・カナダとの比較を中心としての若干の考察). 第四紀研究, 12, 192-202.
- 水越允治・山下脩二 (1985): 『気候学入門』 古今書院。
- 宮本昌幸 (2009): 東北地方北部から北海道地方におけるケツベン気候区分の再検討. 地理学論集, 84, 111-117.
- 文部科学省・気象庁・環境省 (2013): 『日本の気候変動とその影響 (2012年度版)』, 11-12.
- Beck, C., Grieser, J., Kotteck, M., Rubel, F. and Rudolf, B. (2005): Characterizing global climate change by means of Köppen climate classification. *Klimastatusbericht*, 139-149.
- Fraedrich, K., Gerstengarbe, F.-W. and Werner, P.C. (2001): Climate shifts during the last century. *Climatic Change*, 50, 405-417.
- Gerstengarbe, F.-W. and Werner, P.C. (2009): A short update on Koeppen climate shifts in Europe between 1901 and 2003. *Climatic Change*, 92, 99-107.
- Guetter, P.G. and Kutzbach, J.E. (1990): A modified Köppen classification applied to model simulations of glacial and interglacial climates. *Climatic Change*, 16, 193-215.
- Hess, F. and Tasa, D.G. (2013): *McKnight's Physical Geography: A Landscape Appreciation*, 11th ed. Pearson Education, Prentice Hall, USA.
- Köppen, W. (1936): *Das geographische System der Klimate. Handbuch der Klimatologie* in fünf Bänden.
- Kotteck, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. and Rubel, F. (2006): World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15, 3, 259-263.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L. and McMahon, T.A. (2007): Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1633-1644.
- Rubel, F. and Kotteck, M. (2010): Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorologische Zeitschrift*, 19, 2, 135-141.
- Trewartha, G.T. and Horn, L.H. (1980): *An Introduction to Climate*, 5th ed. McGraw-Hill, USA.

(2013年12月19日受理)