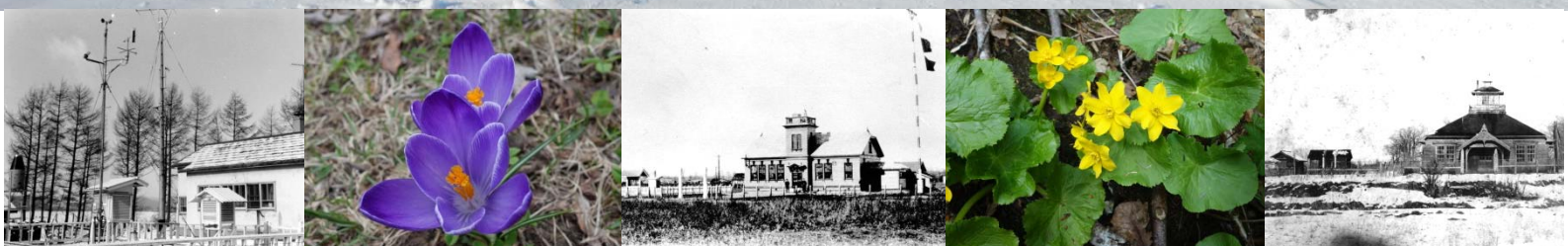


これまでの120年と
これからの予測

北海道の 気候変化

【第2版】



平成29年3月
札幌管区気象台

刊行にあたって

札幌管区気象台では、地球温暖化問題への人々の関心の高まりを背景に、地域に焦点を絞ったわかりやすい情報を提供するため、函館海洋気象台（当時）とともに北海道における過去の気候変化や海洋の長期変動の推移を取りまとめた「北海道の気候変化」を2010年に刊行しました。

一方、近年、地球温暖化の影響と思われる極端な気象現象が世界各地で顕在化しており、世界的に温暖化対策に取り組む重要性が高まっています。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第5次評価報告書（2013年）では、「気候システムの温暖化には疑う余地がなく、人間による影響が20世紀半ば以降に観測された温暖化の支配的な原因であった可能性が極めて高い」ことが示されているほか、今後は「ほとんどの陸域で極端な高温がより頻繁になることはほぼ確実であり」、「中緯度の陸域のほとんどにおいて今世紀までに極端な降水がより強く、より頻繁になる可能性が非常に高い」と報告されています。

他方、2015年12月には、国連気候変動枠組条約第21回締約国会合（COP21）において、参加する全ての国や地域が地球温暖化対策に取り組む「パリ協定」が採択されました。我が国では2015年11月に「気候変動の影響への適応計画」、2016年5月に「地球温暖化対策計画」を閣議決定しており、今後は、温室効果ガスの排出を抑制し気温上昇の進行を緩やかにする「緩和策」に加えて、避けられない気候変動に対しては人や社会、経済のシステムを調節することで負の影響を軽減する「適応策」にも取り組むこととなります。なかでも「気候変動の影響への適応計画」では、基本戦略の一つとして「地域の適応の推進」が挙げられており、北海道地方においても、地域における気候変動の影響評価や適応計画の策定が進んでいくこととなります。こうした取り組みには、地域の気候の状況を科学的に把握することが必要となります。

このような状況を背景に、札幌管区気象台では、「北海道の気候変化」を更新し、第2版を刊行することとしました。更新に際しては、北海道地方の気温や雨、雪などについて最新のデータを用いてあらためて解析するとともに、IPCC第5次評価報告書などによる最新の知見を踏まえた記述としました。

地球温暖化問題については、政府・地方公共団体のみならず、住民・市民レベルの取り組みも重要です。気候やその変化を正しく知ることを通じて、地域の関係機関や住民のみなさまにとって、本書が地球温暖化問題に対応するための一助となれば幸いです。

平成29年3月

札幌管区気象台長 林 久美

目次

本書の構成について.....	1
序章 北海道の地理的環境と気候の特徴.....	2
1 北海道の地理的環境.....	2
2 北海道の気候の特徴.....	2
第 1 章 北海道の気候変化.....	5
1.1 気温.....	5
1.1.1 北海道の気温の長期変化.....	5
1.1.2 夏日、真夏日、冬日、真冬日の日数変化.....	6
コラム：ヒートアイランド現象と気候の変化.....	8
1.2 降水.....	9
1.2.1 北海道の降水量の長期変化.....	9
1.2.2 大雨および降水日数の変化.....	9
1.2.3 アメダスにみる大雨発生回数の変化.....	10
1.3 最深積雪.....	12
1.3.1 北海道の年最深積雪の長期変化.....	12
1.4 海面水温.....	13
1.5 オホーツク海の海氷域の変化.....	15
1.5.1 オホーツク海全域の海氷域面積.....	15
1.5.2 北海道沿岸の海氷.....	15
1.6 生物季節現象の変化.....	17
コラム：札幌におけるオゾン全量の長期変化傾向.....	18
第 2 章 気候変化の将来の見通し.....	20
2.1 気温の見通し.....	20
2.1.1 平均気温、最高気温、最低気温.....	20
2.1.2 階級別日数の変化.....	20
2.2 降水の見通し.....	24
2.3 積雪・降雪の見通し.....	26
2.3.1 最深積雪.....	26
2.3.2 降雪量.....	26
付録 1 データの取り扱いについて.....	29
地上気象観測所の統計について.....	29
アメダスの統計について.....	31
生物季節現象の統計について.....	31
気候変化の将来の見通しについて.....	32
変化傾向の有意性の評価について.....	33
付録 2 用語集.....	34
参考文献.....	36

本書の構成について

本書では、はじめに序章において北海道の地理的環境と気候の特徴について述べる。次に第1章で、気象庁が北海道内の観測所において長期間にわたって観測してきた気象データを用いて、気温や降水量等のこれまでの長期変化について示す。さらに第2章で、地域気候モデルを用いた日本付近の地球温暖化予測結果を用いて、北海道における気温や降水量等の将来の見通しについて述べる。

本書で用いた観測データや観測地点、地域気候モデルの概要、変化傾向の有意性の評価方法については付録1を参照されたい。

第1章において北海道のこれまでの長期変化を示す際には、該当する地点の観測データを集計（平均）した結果に基づいている。各地点（地上気象観測所）におけるこれまでの長期変化（時系列図）は、本書とは別に資料編（データ集）としてまとめた。また、資料編には季節別（降雪、積雪については月別）の将来の見通しも掲載している。

序章 北海道の地理的環境と気候の特徴

1 北海道の地理的環境

北海道は、アジア大陸の東側に位置する日本列島の一部を構成する島である（図 1）。南は津軽海峡をはさんで本州と、北は宗谷海峡をはさんでサハリンと向き合い、東側には千島列島が連なっている。地形をおおまかにみると、石狩平野から勇払平野にかけての低地帯を境として、東の胴体部と南西の半島部に大別することができる。

胴体部にはほぼ南北方向に連なる 1,000～2,000m 級の山地群があり、北部で二列に分岐した山地の間には盆地が並んでいる。また、東部に向かって知床半島の山々が連なっており、その南側には根釧台地が、西側には十勝平野が広がっている。また、南西の半島部にも内浦湾をはさんでいくつもの山々が連なっており、それらの間を縫うように低地帯が分布している。

北海道は、西側に日本海、南東側に太平洋、そして北東側にオホーツク海と、三つの海に面している。日本海と太平洋、オホーツク海を隔てる海峡はいずれも浅く、津軽海峡で深さ 140m 程度、宗谷海峡にいたっては 70m 程度にすぎない。北海道の周囲には傾斜の緩やかな陸棚域が分布しているが、渡島半島西岸や知床半島付近の海底地形は比較的切り立っている。太平洋には最大の深さが 8,000m を超える海溝（千島・カムチャツカ海溝～日本海溝）が連なっている。

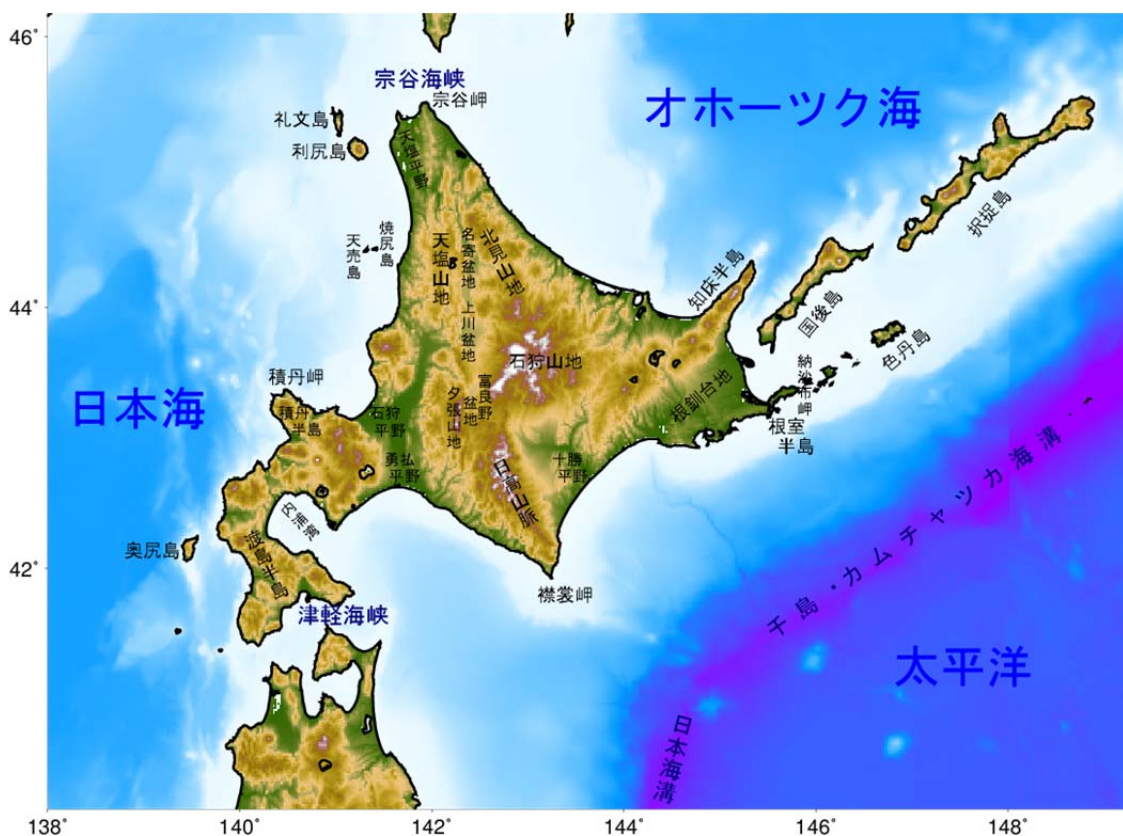


図1 北海道周辺の海陸分布と海底地形

2 北海道の気候の特徴

北海道は温帯気候の北限から冷帯気候の南限にあたっており、冬季には大陸に蓄積された寒冷な気団が北西季節風によって運ばれ、夏季には北太平洋の温暖な気団が南東季節風に乗って流入する。このため、全般に夏と冬で気温の差が大きい。周囲の海水温が低いことも影響して、年平均気温は、ほぼ同緯度の大陸西岸（スペイン北部からフランス南部や北アメリカ大陸西岸）よりも低い、また温暖湿潤気候に属する本州よりも年間を通じて気温と湿度が低いのが特徴で、四季の変化も明瞭といわれる。ただ、日本の本格的な夏の先駆けとされる「梅雨」は不明瞭で、気象庁では梅雨入り・梅雨明けの発表を行っていない。

また、北海道は大雪山系や日高山脈などの地形により、3つの地域に分けられ（図2）、太平洋、日本海、オホーツク海の特性の異なる三つの海に囲まれていること（図3）から、地域によって大きく異なる気候特性を持っている。気象庁が発表する季節予報や北海道地方気象情報ではこの地域分けを用いており、本書でも採用することとする。以下、それぞれの地域における気候の特徴を述べる。

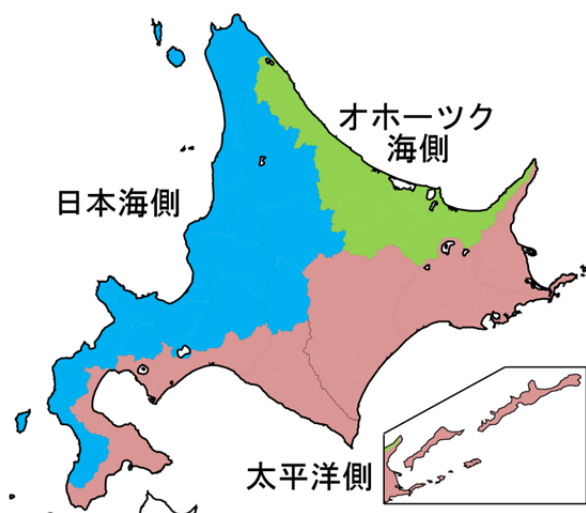


図2 北海道の気候特性の違いによる地域区分

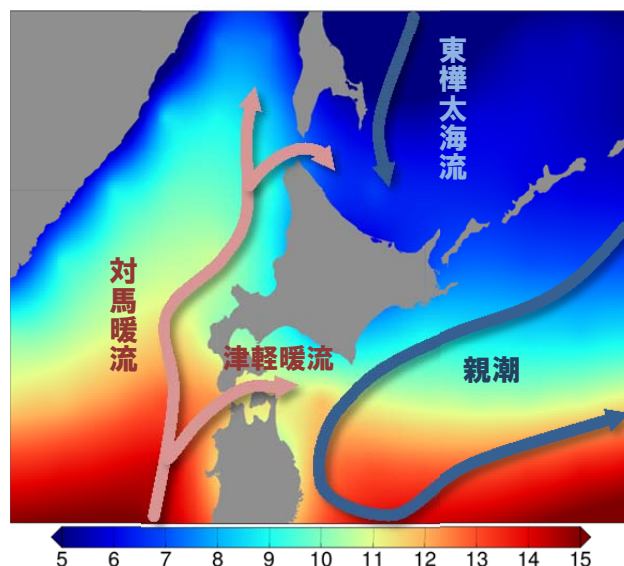


図3 北海道周辺の代表的な海流と年平均海面水温（単位：℃）

(1) 日本海側

日本海に面するこの地域は、日本海を北上する対馬暖流の影響を受けるため、沿岸部を中心に比較的温暖である。冬季には風雪が強まるが、夏季は気温が高く、晴天が多い。

(2) オホーツク海側

オホーツク海に面するこの地域は、夏冬とも乾燥した季節風が吹き込むため、一年を通じて晴天に恵まれやすく、降水量が少ない。冬季に流氷が接岸して海面を覆いつくすと、厳しい冷え込みが続く。

(3) 太平洋側

太平洋に面するこの地域は、冬季は雪が少なく、晴天の日が多い。ただし、西部（胆振・日高・渡島地方）は津軽海峡を抜ける津軽暖流の影響を受け温暖だが、東部（釧路・根室・十勝地方）は厳しい寒さが続く。夏季は湿った南東季節風が親潮によって冷やされ、東部の海上では海霧がしばしば発生する。このため、沿岸部では晴れ間が少なく、気温も上がりにくい。

序章 北海道の地理的環境と気候の特徴

図4に、各地域の代表的な地点の気温、降水量、日照時間、最深積雪の月変化を、図5に北海道内の気象官署（8地点）における年間霧日数、年降雪量をそれぞれ示す。

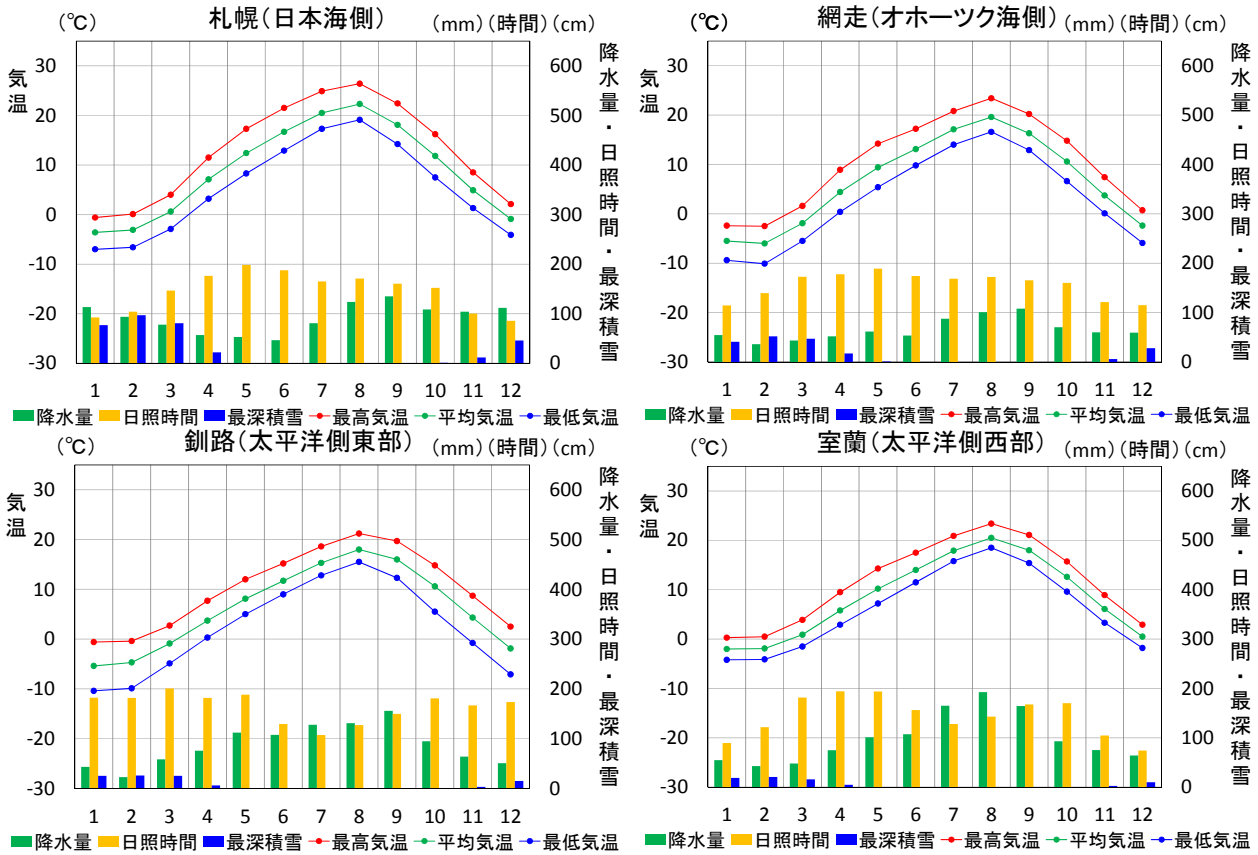


図4 北海道各地点の気温、降水量、日照時間、最深積雪の月変化(1981~2010年の平均値)

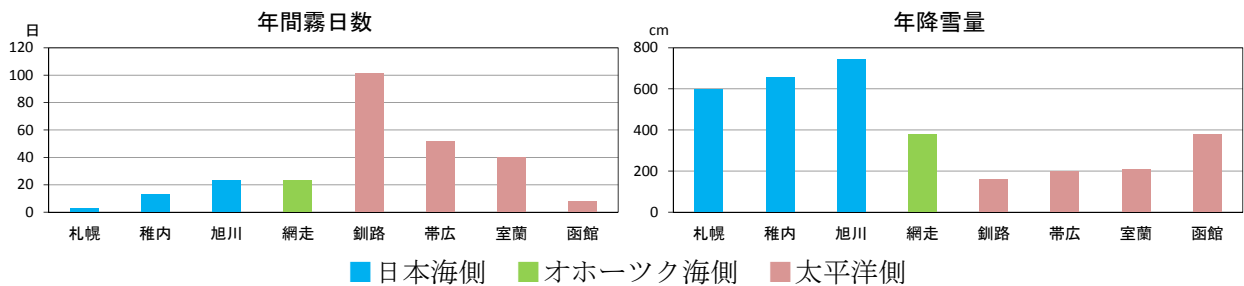


図5 北海道各地点の年間霧日数と年降雪量(1981~2010年の平均値)

第1章 北海道の気候変化

1.1 気温

本節では、北海道内の地上気象観測所で観測された気温の変化について述べる。はじめに、100年以上にわたって観測されてきた年平均気温の長期変化について示す。次に、夏日や冬日等の気温の階級別日数の長期変化について示す。観測データの取り扱いについては、付録1を参照されたい。

1.1.1 北海道の気温の長期変化

世界の年平均気温は、様々な変動を繰り返しながら長期的には100年あたりおよそ 0.71°C の割合で上昇している（図略。気象庁, 2016a）。これは、二酸化炭素などの温室効果ガスの増加に伴う地球温暖化の影響に、数年～数十年程度で繰り返される自然変動が重なって現れているものと考えられる。

日本国内の年平均気温の長期変化傾向は、観測データの均質性が長期間維持され、かつ都市化の影響が比較的小さいとみられる気象庁の15観測地点*を対象に解析されており、1898年から2015年にわたって100年あたりおよそ 1.16°C の割合で上昇している（図略。気象庁, 2016a）。近年、日本が高温となる年が頻出しているが、その要因は、温室効果ガスの増加に伴う地球温暖化の影響に、数年～数十年程度の時間規模で繰り返される自然変動が重なっているためと考えられ、この傾向は、世界の年平均気温と同様である。

上述の日本国内の平均気温の算出に、北海道内では網走、根室、寿都の3地点の観測データが用いられている。この3地点を含む、北海道内で1898年以降観測を継続し、長期間にわたって均質なデータを確保できる7地点（旭川、網走、札幌、帯広、根室、寿都、函館）を平均した年平均気温は、1898年から2015年にわたって100年あたりおよそ 1.59°C の割合で上昇している（図1.1.1-1）。20世紀後半以降に着目すると、1960年代後半から1980年代半ばまでのやや低温の時期を経て、1990年頃に急速に気温が上昇しており、気温が顕著な高温を記録した年は、おおむね1990年以降に集中している。

北海道7地点の1898～2015年における気温の変化率を表1.1.1-1に示す。ほとんどの地点において、平均気温、日最高気温、日最低気温ともに冬（前年12～2月）および春（3～5月）の方が夏（6～8月）および秋（9～11月）よりも上昇率が大きい。また、すべての季節において日最高気温よりも日最低気温の上昇率の方が大きい。札幌など都市部で気温の上昇率が大きいこと

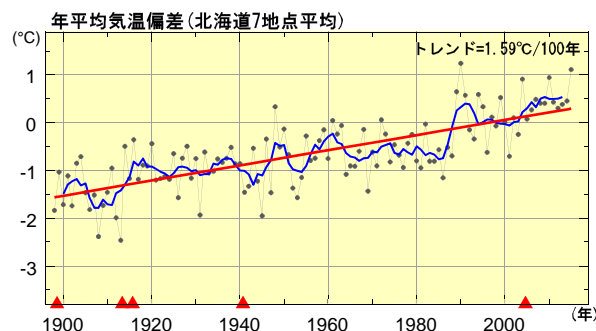


図1.1.1-1 北海道7地点（旭川、網走、札幌、帯広、根室、寿都、函館）を平均した年平均気温の経年変化（1898～2015年、単位： $^{\circ}\text{C}$ ）

細線（黒）は北海道7地点での年平均気温の基準値からの偏差を平均した値を示している。太線（青）は偏差の5年移動平均を示し、直線（赤）は長期的な変化傾向を示す。基準値は1981～2010年の30年平均値。なお、7地点のうちのいずれかにおいて観測場所の移転があった年については横軸上に▲で示し、移転前のデータを補正して利用している。

* 網走、根室、寿都、山形、石巻、伏木、飯田、銚子、境、浜田、彦根、多度津、宮崎、名瀬、石垣島の15地点。

第1章 北海道の気候変化

一因には、都市化の影響が考えられる（コラム「ヒートアイランド現象と気候の変化」参照）。北海道7地点平均の気温の変化率が日本国内15地点の変化率よりも大きい要因の一つには、地点平均に用いた観測点に都市化の影響が比較的大きい札幌などが含まれていることがあげられる。

表1.1.1-1 北海道の各地点における気温の変化率(1898～2015年、単位:°C/100年)

1898年以前から観測を継続している北海道7地点における気温の変化率を示す。統計期間は1898～2015年。あわせて、北海道7地点および都市化の影響が比較的小さいとみられる日本国内15地点でそれぞれ平均した気温の変化量を示す。—は信頼度水準90%以上で統計的に有意な変化傾向がみられないことを示す。旭川、帯広、函館については、統計期間中に観測露場を移転したため、移転による観測データへの影響を評価し、その影響を除去するための補正を行ったうえで利用している。

地点名	平均気温					日最高気温					日最低気温				
	年	冬	春	夏	秋	年	冬	春	夏	秋	年	冬	春	夏	秋
旭川	1.9	2.5	2.2	1.3	1.6	0.5	0.8	1.0	—	—	3.0	4.3	3.4	2.1	2.2
網走	1.3	1.6	1.5	0.9	1.2	0.7	0.7	1.1	—	0.6	1.6	1.7	1.8	1.4	1.5
札幌	2.4	2.9	2.5	2.0	2.4	1.1	1.3	1.4	1.0	0.8	4.2	5.0	4.2	3.5	4.0
帯広	1.9	2.6	2.4	1.0	1.8	0.6	0.9	1.4	—	—	3.5	4.5	4.2	1.9	3.2
根室	1.1	1.6	1.2	0.7	1.1	0.8	0.9	1.0	0.6	0.6	1.8	2.4	1.8	1.1	1.7
寿都	0.8	0.9	1.0	0.8	0.4	0.7	0.5	1.1	1.0	—	0.8	1.0	0.9	0.8	—
函館	1.6	1.9	1.9	1.5	1.4	1.6	1.7	2.0	1.3	1.5	2.1	2.7	2.2	1.9	1.5
7地点平均	1.6	2.0	1.8	1.2	1.4	0.9	1.0	1.3	0.7	0.6	2.4	3.1	2.6	1.8	2.1
日本平均	1.2	1.1	1.3	1.1	1.2	0.9	0.7	1.2	0.9	0.8	1.5	1.4	1.6	1.5	1.6

1.1.2 夏日、真夏日、冬日、真冬日の日数変化

夏日は日最高気温が25°C以上、真夏日は日最高気温が30°C以上、冬日は日最低気温が0°C未満、真冬日は日最高気温が0°C未満の日と定義しており、ここでは、それぞれの年間日数の長期変化に着目した。統計期間は1931～2015年である。日最高気温、日最低気温については観測場

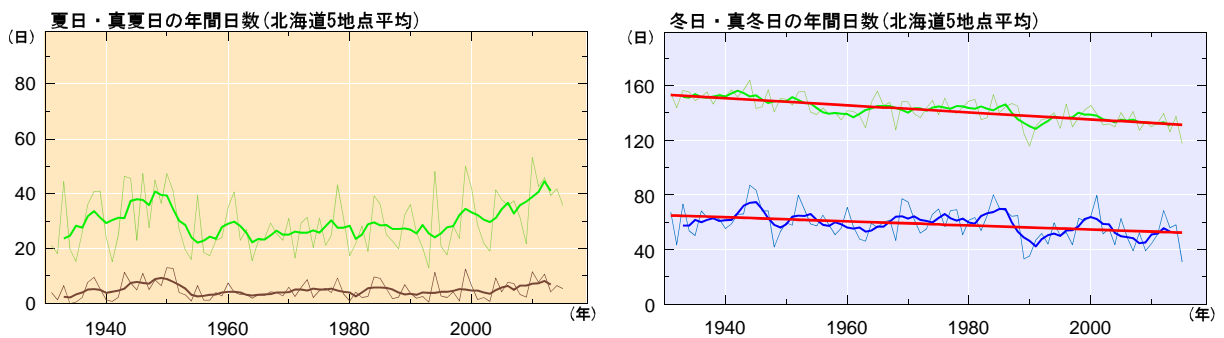


図1.1.2-1 北海道5地点(網走、札幌、帯広、根室、寿都)で平均した夏日、真夏日、冬日、真冬日の1地点あたり年間日数の経年変化(1931～2015年、単位:日)

左図は夏日(緑)、真夏日(茶)の経年変化を、右図は冬日(緑)および真冬日(青)の経年変化をそれぞれ示す。細線は各年の値を、太線は5年移動平均をそれぞれ示し、直線(赤)は期間にわたる変化傾向を示す。なお、真夏日の日数は夏日の日数に、真冬日の日数は冬日の日数にそれぞれ含まれる。

所の移転による影響を除去することが困難であるため、移転による影響のある地点を除いたデータで長期変化傾向を計算した。日本国内 13 地点*の平均では、真夏日の日数に変化傾向はみられない一方で、猛暑日（日最高気温が 35℃以上）の日数には増加傾向が明瞭に現れている。また、冬日の日数は減少している（図略。気象庁, 2016a）。

北海道内で 1931～2015 年の全期間で観測データがあり、移転による影響を含まない 5 地点（網走、札幌、帯広、根室、寿都）の平均では、夏日、真夏日の日数に変化傾向はみられない一方で冬日、真冬日は減少している（図 1.1.2-1）。なお、猛暑日については、北海道 5 地点の平均では出現の頻度が小さいため長期変化傾向の解析は行っていない。

* 日本の年平均気温を求めるために用いた 15 地点のうち、観測場所の移転の影響がある飯田、宮崎を除いた地点。

コラム：ヒートアイランド現象と気候の変化

ヒートアイランド (Heat Island = 熱の島) とは、都市域の気温が周囲よりも高い状態のことである。気温分布図を描くと、等温線が都市域を丸く取り囲んで島のようになることから、このように呼ばれる。都市化に伴って土地利用が変化 (緑地や水面が減少) し、建築物が高層化・高密度化することに加えて、人工排熱が増加する影響でヒートアイランド現象が発生する。ヒートアイランド現象は夏に熱中症の危険性を増大させるだけでなく、乾燥化をもたらすことから呼吸器疾患等への影響なども懸念される一方、風の流れにも変化を生じさせると考えられている。

ヒートアイランド現象は、地球温暖化とともに、都市における近年の気温の上昇の原因となっている。例えば、東京の年平均気温は 100 年あたり 3.2℃ 上昇しており、都市化の影響が比較的小さいとみられる日本国内 15 地点の平均気温の上昇 (1.5℃) を大きく上回っている (気象庁, 2016b)。ヒートアイランド現象による気温の上昇率は、一般に、日最高気温に比べて、日最低気温の方が大きい。これは、日中は混合層*の発達に伴って都市の余剰熱が上空へ拡散することで地表面付近での気温変化量が小さくなるのに対し、夜間は都市の余剰熱が地表付近の薄い層に集中することで地表面付近での気温変化量が大きくなるためであると考えられる (藤部, 2012)。また、平均気温、日最高気温、日最低気温とも、上昇率が最も大きい季節は都市によって異なるものの、上昇率が最も小さいのは夏である都市が多い。

北海道の都市でもヒートアイランド現象によると考えられる気温上昇があり、年平均気温の 100 年あたりの上昇率は、都市化の影響が比較的小さいとみられる寿都、根室ではそれぞれ 0.8℃、1.1℃であるのに対し、札幌、旭川ではそれぞれ 2.4℃、1.9℃である (本文表 1.1.1-1)。

* 空気がよく混ざり合った地表面付近の大気層。数百～千数百 m の高さまで及ぶ。

1.2 降水

本節では、北海道内の地上気象観測所および地域気象観測所（アメダス）で観測された降水の変化について述べる。はじめに、地上気象観測所において100年以上にわたって観測された年降水量の長期変化について示し、次に大雨および降水日数の推移を示す。最後に、アメダスにおける短時間強雨と大雨の推移を示す。観測データの取り扱いについては、付録1を参照されたい。

1.2.1 北海道の降水量の長期変化

世界の陸域の降水量*は、1901年の統計開始以降、周期的な変動を繰り返しており、北半球では、1930年頃、1950年代に降水量の多い時期が現れている（図略。気象庁, 2016a）。

日本国内の年降水量の長期変化傾向は、観測データの均質性が長期間維持されている地上気象観測所の中から、地域的な偏りがないように選別された51観測地点を対象に解析されており、1898年の統計開始以降、長期的な変化傾向はみられない（図略。気象庁, 2016a）。変動の特徴としては、統計開始から1920年代半ばまでと1950年代に多雨期がみられ、1970年代以降は年ごとの変動幅が大きくなっている。

日本国内（51地点平均）の長期変化傾向の解析に用いた北海道6地点（旭川、網走、札幌、帯広、根室、寿都）を平均した年降水量には、1898～2015年の統計期間において、長期変化傾向はみられない（図1.2.1-1）。地点別で見た場合、札幌のみ増加傾向が明瞭に現れている（図略）。日本国内でみられた1920年代および1950年代の多雨期は北海道でもみられるが、北海道でみられた1900年代の少雨の時期は日本国内ではみられない。また、1970年代以降は北海道において年降水量の年ごとの変動幅が大きくなっていることは日本国内と共通している。

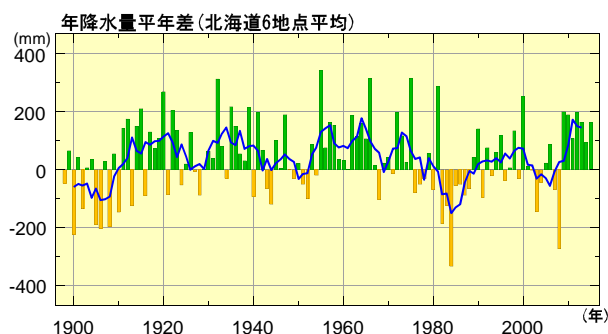


図1.2.1-1 北海道6地点（旭川、網走、札幌、帯広、根室、寿都）を平均した年降水量の経年変化（1898～2015年、単位：mm）

棒グラフは各観測地点での年降水量の基準値からの偏差を平均した値を示している。青線は偏差の5年移動平均を示す。基準値は1981～2010年の30年平均値。

1.2.2 大雨および降水日数の変化

日本国内の日降水量100mm以上および200mm以上の年間日数は1901年の統計開始以降増加する一方で日降水量1.0mm以上の年間日数は減少し、大雨の頻度が増える反面、弱い降水も含めた降水の日数は減少する特徴を示している（図略。気象庁, 2016a）。

北海道の大雨の日数について、北海道では日降水量が100mmを超える事例は少ないため、北海道6地点を平均した日降水量50mm以上および70mm以上の年間日数について長期変化傾向を調べると、日降水量50mm以上の日数には変化傾向はみられないが、日降水量70mm以上の日数には増加傾向が現れている（図1.2.2-1）。

* 世界全体の降水量の長期変化傾向を算出するには、地球の表面積の約7割を占める海洋における降水量を含める必要があるが、海洋における降水量の観測データが十分に得られてはいないため、変化傾向を求めている。

第1章 北海道の気候変化

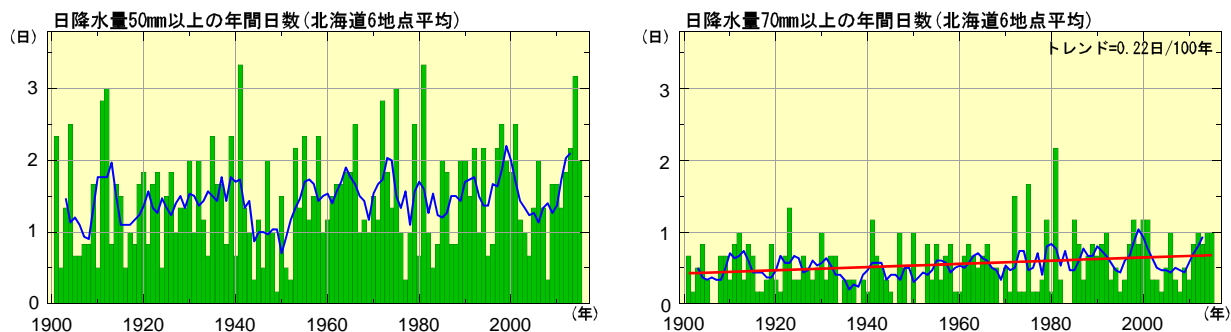


図1.2.2-1 北海道6地点(旭川、網走、札幌、帯広、根室、寿都)を平均した日降水量50mm以上および70mm以上の1地点あたり年間日数の経年変化(1901～2015年、単位:日)
折れ線(青)は5年移動平均を、直線(赤)は期間にわたる変化傾向をそれぞれ示している。

北海道での降水の日数について、北海道6地点を平均した日降水量1.0mm以上の年間日数には変化傾向はみられない(図1.2.2-2)。季節別に見ると、冬には増加する一方で、秋には減少する傾向が明瞭に現れており(図略)、季節による特徴の存在が示唆される。

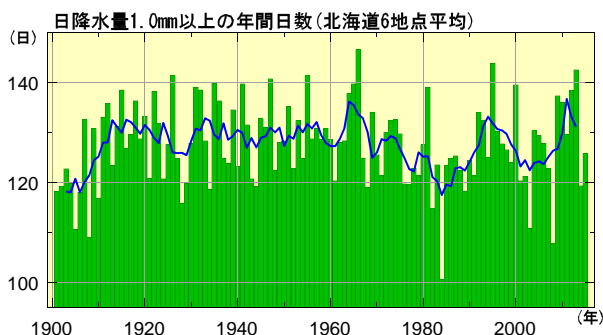


図1.2.2-2 北海道6地点(旭川、網走、札幌、帯広、根室、寿都)を平均した日降水量1.0mm以上の1地点あたり年間日数の経年変化(1901～2015年、単位:日)
折れ線(青)は5年移動平均を示している。

1.2.3 アメダスにみる大雨発生回数の変化

気象庁では、現在、全国約1300地点の地域気象観測所(アメダス)において降水量の観測を行っている。北海道内では225地点で降水量の観測を行っており、若干の前後はあるものの1970年代後半に観測を始めている地点が多い。アメダスの観測データは地上気象観測所に比べると観測期間が短い、面的に緻密な観測が行われていることから、局地的な大雨なども比較的良好に捉えることが可能である。

全国のアメダスで観測された短時間強雨の年間発生回数の長期変化をみると、統計期間1976～2015年で1時間降水量50mm以上の年間発生回数は増加傾向が明瞭に現れており、1時間降水量80mm以上の年間発生回数も同期間で増加している(図略。気象庁, 2016a)。また、大雨については、日降水量200mm以上の年間日数については同期間で変化傾向はみられない一方で、日降水量400mm以上の年間日数は増加する傾向が明瞭に現れている(図略。気象庁, 2016a)。これらの短時間強雨や大雨の増加は日本域での詳細な温暖化予測において地球温暖化の影響として予測されている結果と整合的である(気象庁, 2015)。ただし、予測される短時間強雨や大雨の発生回数は年ごとの変動幅が大きく、それに対してアメダスの観測期間は比較的短いことから、変化傾向を確実に捉えるためには今後も観測データの蓄積が必要である。

ここでは1979年から降水の観測を継続している北海道内166地点のデータを用いて、大雨発生回数の長期変化を示す。統計期間は1979～2015年である。北海道では1時間降水量が80mmを

超える事例は少ないため、1時間降水量30mm以上および50mm以上の年間発生回数について長期変化傾向を調べると、1時間降水量30mm以上の発生回数には増加傾向がみられるが、50mm以上の発生回数には変化傾向がみられない(図1.2.3-1)。また、日降水量50mm以上および100mm以上の年間発生回数にも変化傾向はみられない(図1.2.3-2)。

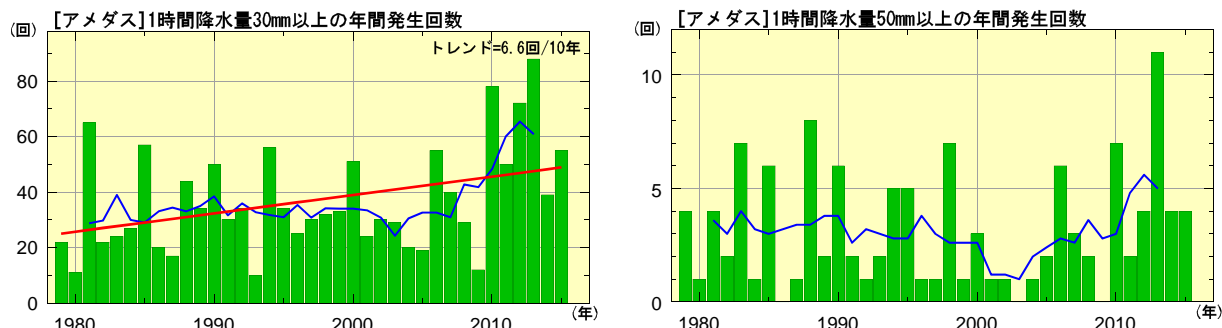


図1.2.3-1 北海道のアメダス地点で1時間降水量が30mm、50mm以上となった年間の回数(1979～2015年、単位:回)

折れ線(青)は5年移動平均、直線(赤)は期間にわたる変化傾向を示している。

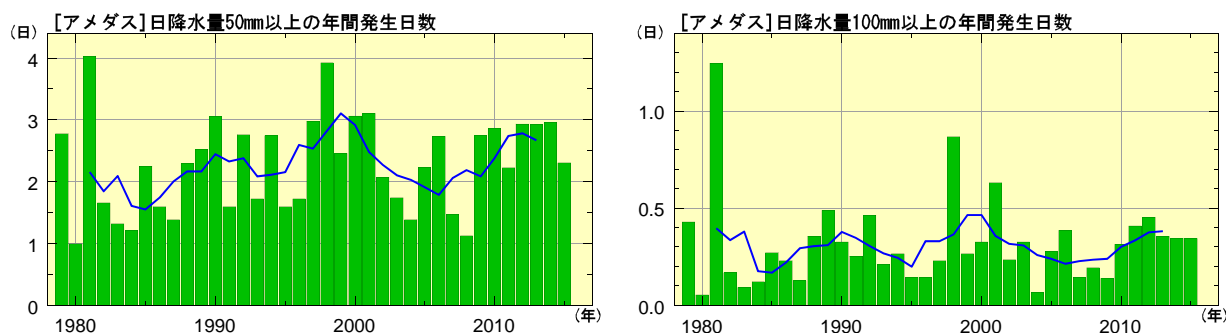


図1.2.3-2 北海道のアメダス地点で日降水量が50mm、100mm以上となった年間の日数(1979～2015年、1地点あたりの日数に換算)

折れ線(青)は5年移動平均を示している。

第1章 北海道の気候変化

1.3 最深積雪

本節では、北海道内の地上気象観測所で観測した最深積雪の変化について述べる。観測データの取り扱いについては、付録1を参照されたい。

1.3.1 北海道の年最深積雪の長期変化

日本国内の年最深積雪の長期変化傾向は気象庁の日本海側の観測点を対象に1962～2015年の期間について解析されており、東日本日本海側と西日本日本海側では減少しているが、北日本日本海側では変化傾向はみられない(図略。気象庁, 2016a)。

1962年以降継続して観測している北海道日本海側の8地点(稚内、留萌、旭川、札幌、岩見沢、寿都、江差、倶知安)を平均した年最深積雪平年比を図1.3.1-1に示す。北海道日本海側を含む北日本日本海側では年最深積雪に長期変化傾向がみられなかったが、北海道日本海側に限定すると年最深積雪の減少傾向が明瞭に現れている。ただし、北海道日本海側における年最深積雪の減少割合は東日本日本海側および西日本日本海側のそれに比べて小さい。なお、年最深積雪は年ごとの変動幅が大きく、それに対して統計期間が比較的短いことから、変化傾向を確実に捉えるためには今後さらに観測データの蓄積が必要である。

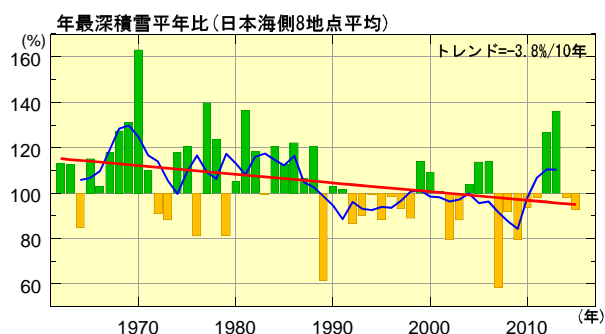


図1.3.1-1 北海道日本海側8地点(稚内、留萌、旭川、札幌、岩見沢、寿都、江差、倶知安)を平均した年最深積雪平年比の経年変化(1962～2015年、単位:%)

観測点ごとに年最深積雪の1981～2010年平均に対する比を求め、地域内の全地点を平均した値を示している。青線は偏差の5年移動平均を、赤線は期間にわたる変化傾向を示している。なお、棒グラフは比の基準値(100%)からの差を示し、緑(黄色)の棒グラフは基準値から増えている(減っている)ことを示している。

1.4 海面水温

世界の年平均海面水温は長期的に上昇しており、1891年から2015年にわたる上昇率は100年あたり 0.52°C である(図略。気象庁, 2016a)。世界の平均海面水温は平均気温と同様、その長期的な上昇には地球温暖化の影響が考えられるが、数年～数十年程度で繰り返される自然変動の影響も受けている。

気象庁は、船舶等で直接観測した海面水温データを解析して、1891年から現在までの100年以上にわたる海面水温データセットを作成している。その海面水温データセットをもとに、海面水温の長期変化傾向が類似した範囲を一つの海域として、日本近海を複数に区分し、それぞれの海域における海面水温の上昇率を求めている。日本近海における年平均海面水温は、1900年から2015年にわたって100年あたり 1.07°C の割合で上昇している(図略。気象庁, 2016a)。この上昇率は世界の平均海面水温の上昇率よりも大きく、日本の年平均気温の上昇率と同程度となっている。

北海道周辺海域(海域区分は図1.4-1のとおり)における年平均海面水温の経年変化を図1.4-2に示す。

釧路沖では長期的に海面水温が上昇しており、三陸沖でも上昇傾向が明瞭に現れている。これらの海域の平均海面水温には、長期変化傾向に加えて十年程度の時間スケールの変動がみられる。後者には太平洋十年規模変動(Pacific Decadal Oscillation : PDO)に代表される自然変動現象が影響していると考えられる。

日本海中部では長期的に海面水温が上昇しており、その上昇率は世界の平均海面水温の上昇率のおよそ3倍の大きさとなっている。日本海北東部では、十年から数十年の時間スケールの変動の振幅が大きく、特に1920年代の水温が高いことから、統計的に有意な長期変化傾向は見出せない。

なお、網走沖については1960年代以前の観測データが少ないため、長期変化傾向の解析を行っていない。

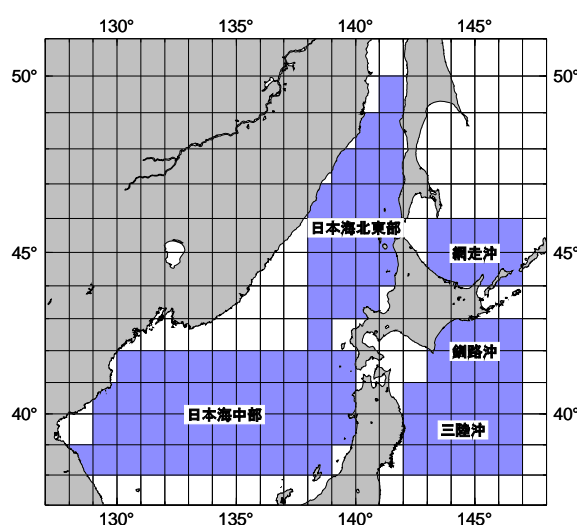


図1.4-1 海面水温の領域平均に用いた海域区分

第1章 北海道の気候変化

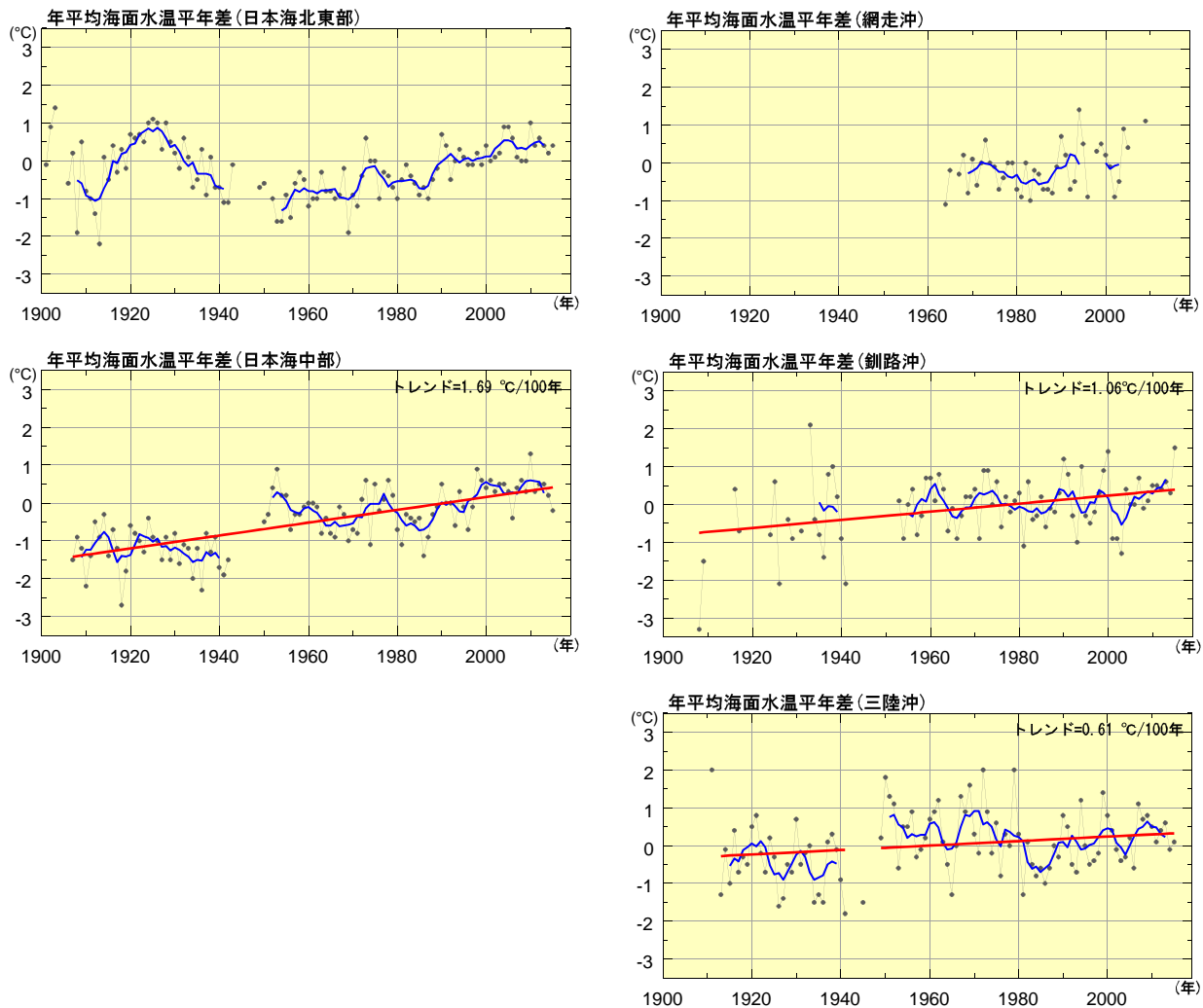


図1.4-2 各海域における年平均海面水温の経年変化(単位:°C)

細線は各海域における年平均海面水温の基準値からの偏差を示している。太線(青)は偏差の5年移動平均を示し、直線(赤)は長期的な変化傾向を示す。基準値は1981～2010年の30年平均値。統計期間の開始年はそれぞれ1901年(日本海北東部)、1907年(日本海中部)、1964年(網走沖)、1908年(釧路沖)、1911年(三陸沖)、統計期間の終了年はいずれも2015年。

1.5 オホーツク海の海水域の変化

1.5.1 オホーツク海全域の海水域面積

オホーツク海は、広範囲に海氷が存在する海としては北半球で最も南に位置する。オホーツク海の海氷は、10月後半から11月はじめ頃に結氷が始まり、翌年7月頃までには融解・消失する季節海氷である。

気象庁では、北海道沿岸の気象官署による海氷観測や人工衛星、航空機、船舶等による観測の資料をもとに、オホーツク海、日本海、渤海（ぼっかい）周辺の海水域の解析および海水域面積の計算を、オホーツク海で海氷が生成し始める時期から完全に消滅するまで、半旬ごと（毎月5日、10日、15日、20日、25日および月末）に行っている。

オホーツク海の最大海水域面積（海水域が年間で最も拡大した半旬の海水域面積）は、1971年から2015年にわたって年ごとに大きく変動しているものの長期的には減少しており、10年あたり7.1万km²（オホーツク海の全面積の4.5%に相当）の割合で減少している（図1.5.1-1）。オホーツク海の最大海水域面積に長期的な減少傾向が現れていることは、地球温暖化が影響している可能性があるが、海水域面積データが蓄積されている期間が約40年と比較的短いことから、地球温暖化との関連性をより確実に評価するためには今後のさらなる観測データの蓄積が必要である。

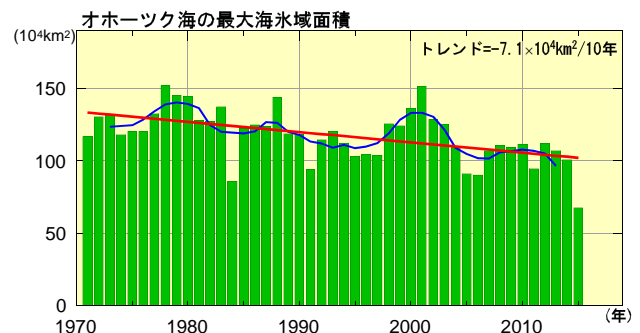


図1.5.1-1 オホーツク海の最大海水域面積の経年変化(1971～2015年、単位:km²)

折れ線(青)は5年移動平均を、直線(赤)は期間にわたる変化傾向をそれぞれ示す。

1.5.2 北海道沿岸の海氷

流氷初日は視界内の海面で流氷が見られた最初の日、流氷終日は視界内の海面で流氷が見られた最後の日、流氷接岸初日は流氷が接岸などにより船舶が航行できなくなった最初の日、海明けは流氷が減り船舶の航行が可能になった最初の日であるが、網走、稚内、釧路では流氷初日、流氷終日を1946年以降、流氷接岸初日を1959年以降現在まで継続して観測している*。また、網走では海明けを1956年以降現在まで継続して観測している。

流氷期間（流氷初日から流氷終日までの期間）は、年ごとの変動幅が大きいですが、毎年流氷が観測されている網走では、1946年から2015年にわたって流氷期間が10年あたり4.1日の割合で短くなっている（図1.5.2-1）。また、稚内においても流氷期間が短くなるとともに、稚内および釧路では流氷が観測されない年が1990年頃から連続して現れるようになっている（図略）。

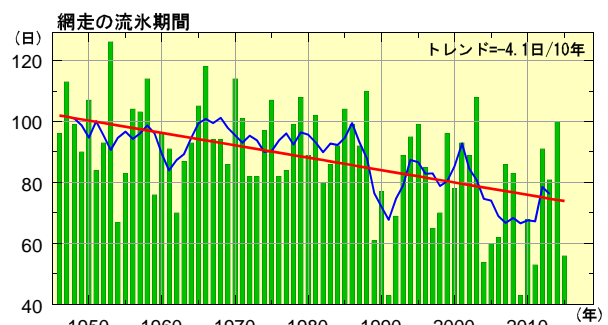


図1.5.2-1 網走における流氷期間の経年変化(1946～2015年、単位:日)

折れ線(青)は5年移動平均を、直線(赤)は期間にわたる変化傾向をそれぞれ示す。

* ここで「年」は前年12月～当年5月を意味する。

第1章 北海道の気候変化

網走における1946～2015年の流氷初日、流氷終日、接岸初日(1959年以降)および海明け(1956年以降)の経年変化を図1.5.2-2に示す。流氷初日は遅くなる傾向が明瞭に現れており(10年あたり1.1日)、流氷終日は早くなっている(10年あたり2.9日)。また、統計期間は異なるが、接岸初日は遅くなる傾向が現れており(10年あたり1.9日)、海明けは早くなる傾向が明瞭に現れている(10年あたり2.2日)。

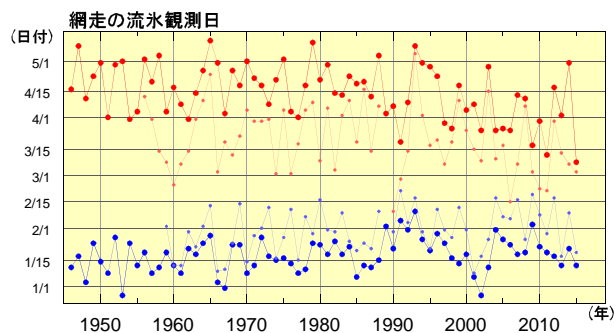


図1.5.2-2 網走における流氷初日(青太線)、流氷終日(赤太線)、流氷接岸初日(青細線)および海明け(赤細線)の経年変化(1946～2015年)

1.6 生物季節現象の変化

生物季節観測の目的は、生物に及ぼす気象の影響を知るとともに、その観測結果から季節の遅れ進みや気候の違い・変化など総合的な気象状況の推移を知ることにある。本節では、北海道内の気象官署で観測されたさくらの開花日およびかえでの紅葉日の長期変化について示す。

この観測は、できるだけ自然の状態に置かれている木を標本とし、継続して行うものである。気候条件の違いなどにより、対象生物の生育が難しい地域では、同属の品種を代替りの種目として観測しているところもある(各地点における観測品種と観測開始年については付録1を参照されたい)。

気象庁におけるさくらの開花とかえでの紅(黄)葉*の観測対象地点(2016年1月1日現在、さくらの開花58地点、かえでの紅葉51地点)の観測結果から、日本国内では1953年から2015年の間に、さくらの開花日は10年あたり1.0日の割合で早くなり、かえでの紅葉日は10年あたり2.9日の割合で遅くなっている(図略。気象庁, 2016a)。さくらの開花日が早まる傾向やかえでの紅葉日が遅まる傾向は、現象が発現する前の平均気温との相関が高いことから(気象庁, 2015)、経年変化の特徴の要因の一つとして長期的な気温上昇の影響が考えられる。

北海道で現在さくらの開花の観測対象地点となっている8地点(稚内、旭川、網走、札幌、帯広、釧路、室蘭、函館)を平均した開花日は、年ごとの違いが大きいものの、1953年から2015年にわたって10年あたり0.9日の割合で早くなっている(図1.6-1)。

また、北海道で現在かえでの紅葉の観測対象地点となっている6地点(旭川、札幌、帯広、釧路、室蘭、函館)のうち、観測回数が30回に満たない旭川、室蘭を除いた4地点(札幌、帯広、釧路、函館)を平均した紅葉日は、1953年から2015年にわたって10年あたり2.7日の割合で遅くなっている(図1.6-2)。

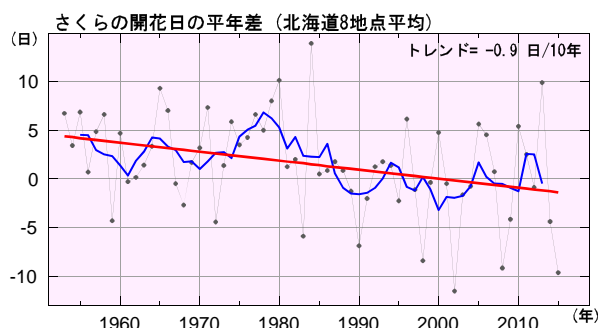


図1.6-1 北海道8地点(稚内、旭川、網走、札幌、帯広、釧路、室蘭、函館)を平均したさくらの開花日の経年変化(1953~2015年、単位:日)
細線(黒)は平年差(観測地点で現象を観測した日の平均値(1981~2010年の平均値)からの差を平均した値)を示している。太線(青)は平年差の5年移動平均を、直線(赤)は長期的な変化傾向をそれぞれ示す。

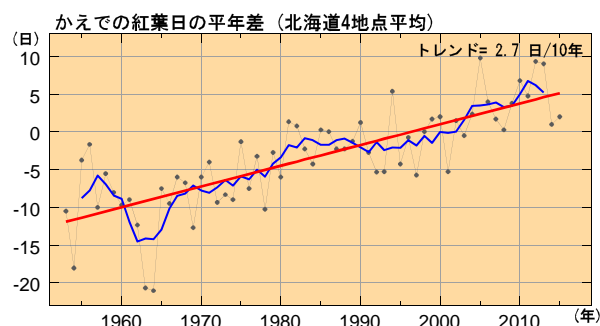


図1.6-2 北海道4地点(札幌、帯広、釧路、函館)を平均したかえでの紅葉日の経年変化(1953~2015年、単位:日)
細線(黒)は平年差(観測地点で現象を観測した日の平均値(1981~2010年の平均値)からの差を平均した値)を示している。太線(青)は平年差の5年移動平均を、直線(赤)は長期的な変化傾向をそれぞれ示す。

* 北海道内の気象官署では、さくらの開花は「そめいよしの、えぞやまざくら」を対象に、かえでの紅(黄)葉は「やまもみじ、おおもみじ、いたやかえで」を対象に観測を行っている。なお、かえでの紅(黄)葉は樹種により紅葉と黄葉があるが、以下では総称して紅葉とする。

コラム：札幌におけるオゾン全量の長期変化傾向

大気中のオゾンは成層圏（高度約 10～50km）に多く存在し、このオゾンの多い層をオゾン層と呼ぶ。オゾン層は、太陽からの有害な紫外線の多くを吸収し、地上の生態系を保護する役割を果たしている。また、紫外線の吸収は成層圏の大気を暖める効果があるため、地球の気候の形成にも大きく関わっている。

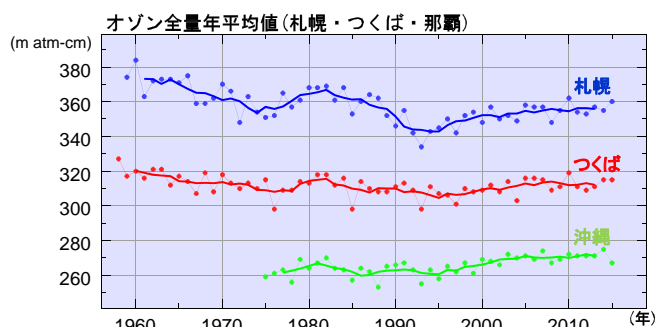
フロンなどの人工物質（オゾン層破壊物質）は、成層圏で紫外線により分解されて塩素原子を放出し、周囲のオゾンと反応してオゾン層を破壊するため、地球規模の環境問題となっている。

札幌と他の国内観測地点（つくば、那覇）におけるオゾン全量の年平均値の経年変化を図 A-1 に示す。札幌とつくばのオゾン全量は 1980 年代から 1990 年代半ばまで減少した後、穏やかな増加傾向がみられる。那覇では期間を通して穏やかな増加傾向がみられる。オゾン層破壊物質によるオゾンの減少は高緯度ほど大きい傾向にあるが、この図からもその傾向がみてとれる。札幌における最近 5 年間（2011～2015 年）の累年平均値は、オゾン層破壊現象がまだ現れていないと見なしうる 1970～1980 年の累年平均値と比べ、依然少ない状況にある。

札幌のオゾン全量の経年変化を季節ごとにとみると、いずれの季節においても 1990 年代以降負偏差を示すことが多く、1990 年代の春季と冬季が特に顕著である（図 A-2）。

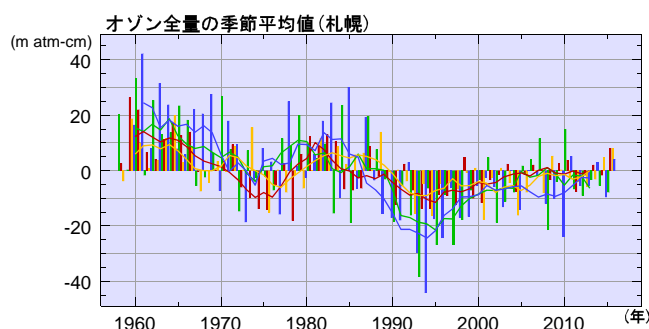
オゾン量を変動させる要因は、「自然変動要因」と「人為的要因」の 2 つに大別できる。自然変動要因としては、太陽黒点活動にともなう太陽紫外線の放射強度の変動と、赤道上空の成層圏東西風の約 2 年周期の振動、ENSO（エルニーニョ・南方振動）、火山噴火等で生じる成層圏エーロゾルが知られている。また、毎年の変化には春季に極大となる季節変動がある。一方、人為的要因としてはオゾン層破壊物質濃度の変化があげられる。

図 A-3 に、これらの自然変動成分の影響量を見積もり、それを除去した札幌のオゾン全量と、オゾン量が減少した期間（1979～1996 年）と最近（2000～2015 年）に分けた回帰直線による変化傾向を示す。減少期（1979～1996 年）のオゾン全量は統計的に有意な減少傾向を示しており、10 年あたりの変化率は -4.1% となった。一方、最近（2000～2015 年）のオゾン全量は統計的に有意な



図A-1 札幌(青)、つくば(赤)、那覇(緑)におけるオゾン全量年平均値の経年変化(単位:m atm-cm)

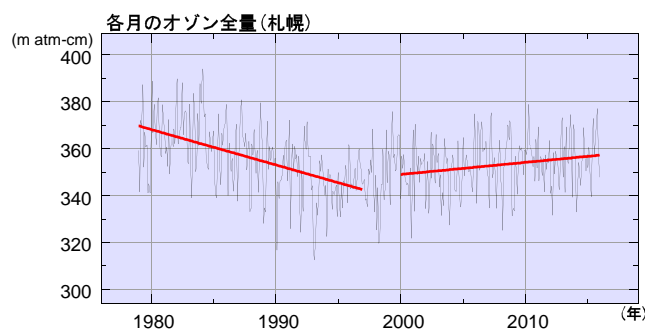
データ期間は観測開始～2015年。太線は5年移動平均を示す。単位(m atm-cm:ミリアトムセンチメートル)は、大気中のオゾンをすべて0℃、1気圧の地表に集めたときのオゾンだけからなる層の厚さを表し、オゾン全量300m atm-cmは厚さ3mmに相当する。



図A-2 札幌のオゾン全量の季節平均値の偏差の経年変化(1958～2015年、単位:m atm-cm) 偏差は1958～2015年の平均値に対する差。折れ線は5年移動平均を示す。緑色:春、赤色:夏、橙色:秋、青色:冬。

増加傾向を示しており、10年あたりの変化率は+1.5%となった。

大気中のオゾン層破壊物質は減少傾向にあることが知られており、このことが札幌におけるここ16年のオゾン全量の増加傾向に影響している可能性はある。しかし、現状では自然変動成分を正確に見積もることが難しいため、札幌におけるオゾン全量の増加傾向がオゾン層破壊物質の減少に対応しているかどうかについてはさらに慎重に検討する必要がある。



図A-3 札幌における自然変動成分の影響を除去したオゾン全量の経年変化(1979～2015年、単位：m atm-cm)

赤線は1979～1996年および2000～2015年にわたる変化傾向をそれぞれ示す。

第 2 章 気候変化の将来の見通し

本章では、北海道の気候変化の将来の見通しについて、気象庁が地域気候モデルを用いて 21 世紀末の気候を予測した「地球温暖化予測情報第 8 巻」(気象庁, 2013) の計算結果に基づいて述べる。将来予測には温室効果ガスの排出想定が必要であるが、ここでは SRES A1B シナリオ (IPCC, 2000) に基づく温室効果ガス濃度を外部強制力として予測している。地域気候モデルによる将来予測については、付録 1 を参照されたい。

予測結果は、地域気候モデルで再現した 20 世紀末の気候 (1980~1999 年) と 21 世紀末の気候 (2076~2095 年) を比較した変化で示している。なお、世界を対象とした将来予測については、IPCC 第 5 次評価報告書 (IPCC, 2013) で得られた成果をもとに記述する。

2.1 気温の見通し

2.1.1 平均気温、最高気温、最低気温

世界における 21 世紀末 (2081~2100 年) の平均気温は、20 世紀末頃 (1986~2005 年) を基準として、温室効果ガスについて「厳しい排出削減対策を行う想定」のシナリオ (RCP2.6) では 0.3~1.7℃、「高いレベルの排出が続く想定」のシナリオ (RCP8.5) では 2.6~4.8℃の範囲で上昇する可能性が高いと予測されている (図略。IPCC, 2013)。

日本における 21 世紀末 (2076~2095 年) の平均気温は、20 世紀末 (1980~1999 年) を基準として全国平均で 2.5~3.5℃の上昇が予測されており、低緯度より高緯度、夏季より冬季の気温上昇が大きい (図略。気象庁, 2013)。

21 世紀末 (2076~2095 年) における北海道の平均気温は、20 世紀末 (1980~1999 年) を基準として 3℃程度の上昇がみられ、北海道内の他の地域に比べてオホーツク海側の上昇がわずかに大きい (図 2.1.1-1、2.1.1-2)。日最高気温に比べて日最低気温の方が上昇が大きい。また、平均気温、日最高気温、日最低気温は、夏よりも冬の方が上昇が大きく (図略)、冬の日最低気温は北海道全体で 4℃程度の上昇がみられ、特にオホーツク海側の上昇が大きい (図 2.1.1-3)。

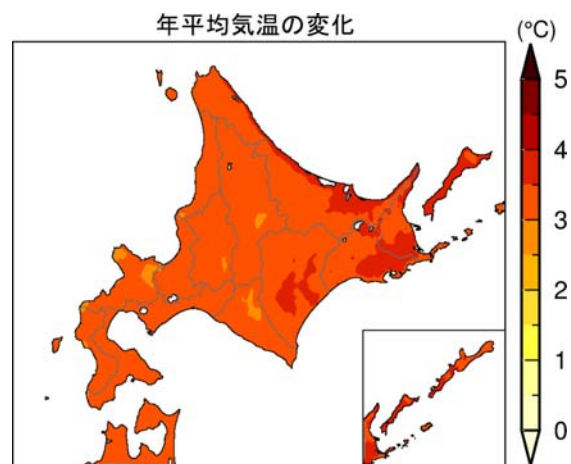


図2.1.1-1 北海道の年平均気温の変化(21世紀末の気候と20世紀末の気候との差、単位:℃)

2.1.2 階級別日数の変化

21 世紀末 (2076~2095 年) における日本の真夏日 (日最高気温が 30℃以上) および猛暑日 (日最高気温が 35℃以上) の日数は、20 世紀末 (1980~1999 年) に比べて増加し、冬日 (日最低気温が 0℃未満) および真冬日 (日最高気温が 0℃未満) の日数が減少することが予測されている (図略。気象庁, 2013)。

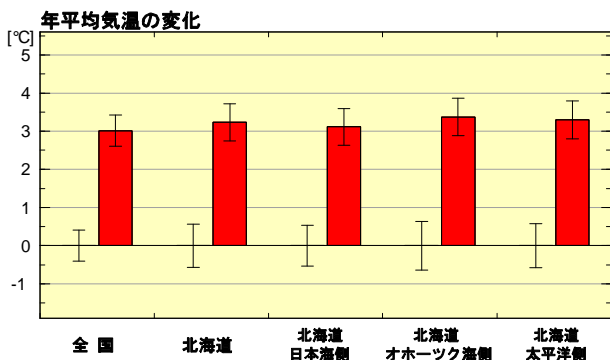


図2.1.1-2 全国および北海道の地域別の年平均気温の変化(単位:°C)

棒グラフは21世紀末の気候と20世紀末の気候との差、細い縦線は年々変動の標準偏差(各地域とも、左:20世紀末、右:21世紀末)を示す。

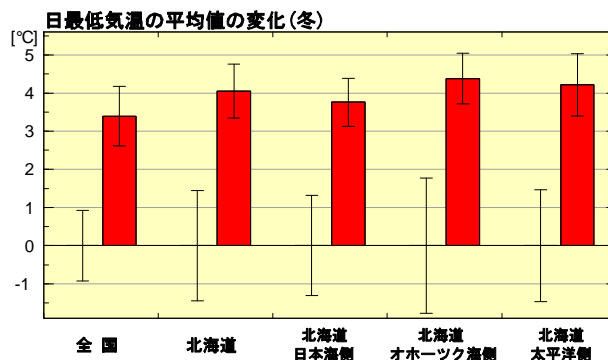


図2.1.1-3 冬季(12~2月)における全国および北海道の地域別の日最低気温の変化(単位:°C)

棒グラフは21世紀末の気候と20世紀末の気候との差、細い縦線は年々変動の標準偏差(各地域とも、左:20世紀末、右:21世紀末)を示す。

北海道では猛暑日の出現頻度は小さいため、夏日(日最高気温が25°C以上)、真夏日、冬日および真冬日の年間日数の変化に着目した。21世紀末における北海道の夏日の年間日数は20世紀末に比べて30日程度増加し、日本海側や太平洋側西部ではさらに多く増加することが予測される(図2.1.2-1左図および図2.1.2-2左図)。また、真夏日の年間日数は10日程度増加し、内陸部でより多く増加することが予測される*(図2.1.2-1右図および図2.1.2-2右図)。全国の真夏日日数が30日程度増加するのに対して北海道の真夏日日数の増加は10日程度と大きな差があるが、北海道ではもともと日最高気温が全国に比べて低く、日最高気温が上昇するものの真夏日になる日は全国ほどには増加しないためである。

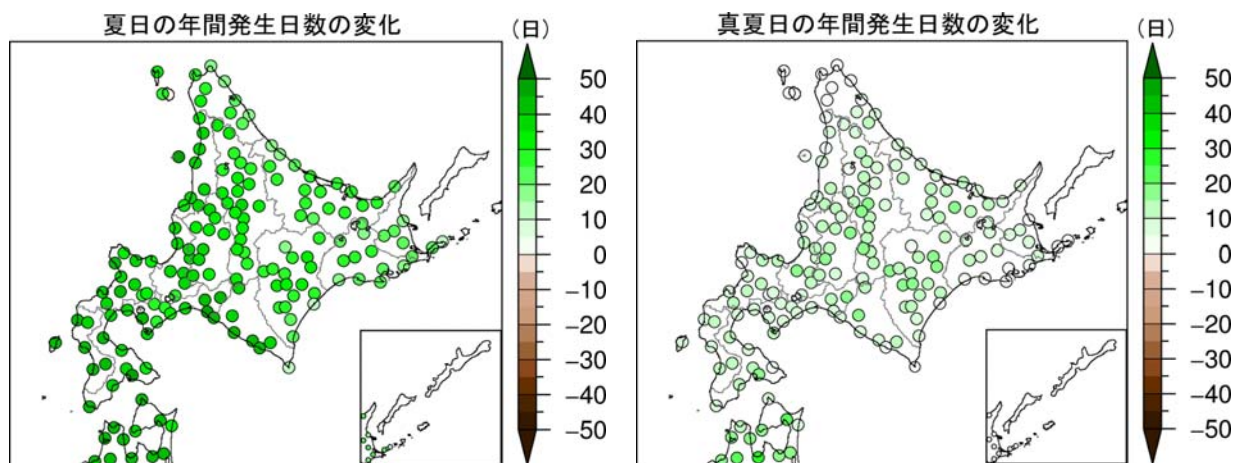


図2.1.2-1 北海道の夏日・真夏日の日数の変化(21世紀末の気候と20世紀末の気候との差、単位:日)

(左)夏日、(右)真夏日の日数。なお、気候モデルの予測値に含まれる系統誤差の影響を軽減するため、アメダスの観測値を用いて統計的補正を施している。

* 日本国内13地点および北海道5地点を平均した真夏日の年間日数は、それぞれ約37日および約5日である(統計期間は1981-2010年。対象地点は付録1を参照のこと)。

第 2 章 気候変化の将来の見通し

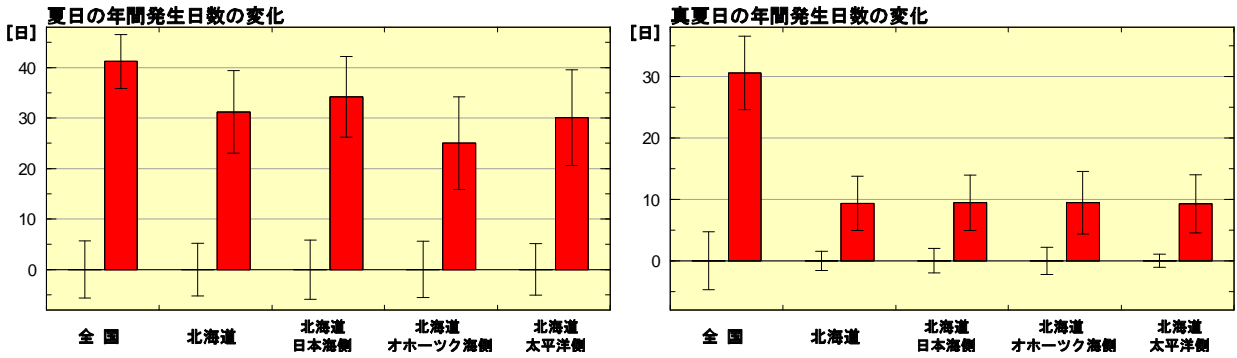


図2.1.2-2 全国および北海道の地域別の夏日・真夏日の日数の変化(単位:日)

棒グラフは21世紀末の気候と20世紀末の気候との差、細い縦線は年々変動の標準偏差(各地域とも、左:20世紀末、右:21世紀末)を示す。(左)夏日、(右)真夏日の日数。なお、気候モデルの予測値に含まれる系統誤差の影響を軽減するため、アメダスの観測値を用いて統計的補正を施している。

21世紀末における北海道の冬日の年間日数は20世紀末に比べて40日程度減少することが予測される(図2.1.2-3左図および図2.1.2-4左図)。真冬日の年間日数も40日程度減少することが予測されるが[†]、日本海側南部や太平洋側西部では変化量が比較的小さい(図2.1.2-3右図および図2.1.2-4右図)。日本海側南部や太平洋側西部では20世紀末気候においても出現日数が少ないことが要因のひとつと考えられる。全国の真冬日日数が10日程度減少するのに対して北海道の真冬日日数の減少は40日程度と大きな差があるが、20世紀末気候における全国の真冬日日数が少ないため、全国の変化量は小さくなっている。

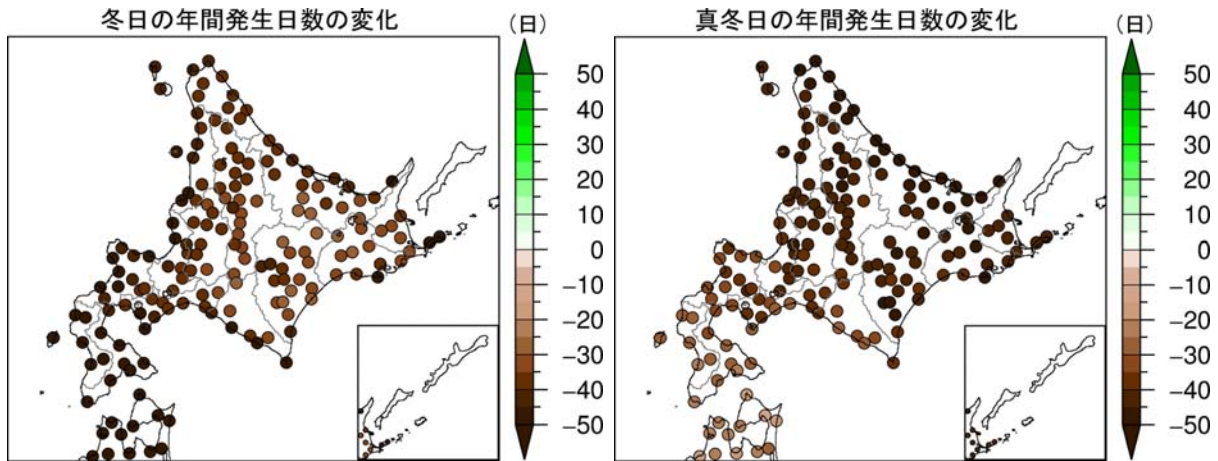


図2.1.2-3 北海道の冬日・真冬日の日数の変化(21世紀末の気候と20世紀末の気候との差、単位:日)

(左)冬日、(右)真冬日の日数。なお、気候モデルの予測値に含まれる系統誤差の影響を軽減するため、アメダスの観測値を用いて統計的補正を施している。

[†] 日本国内13地点および北海道5地点を平均した真冬日の年間日数は、それぞれ約15日および約55日である(統計期間は1981-2010年。対象地点は付録1を参照のこと)。

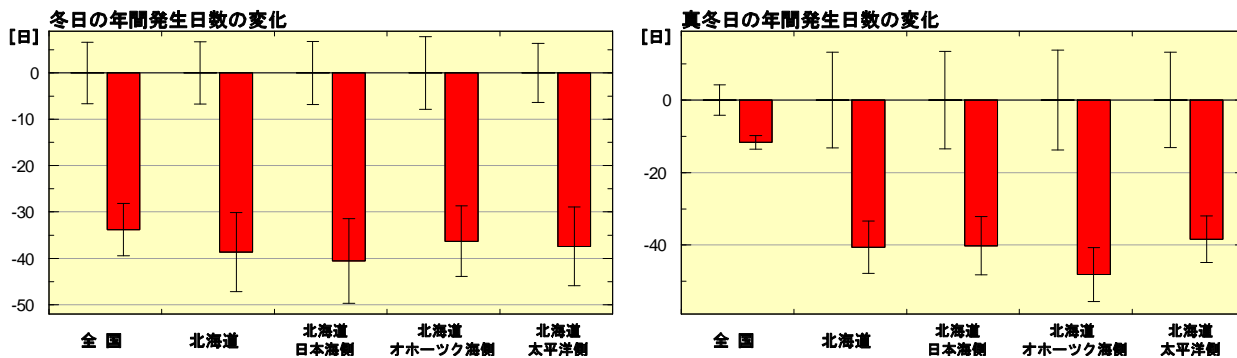


図2.1.2-4 全国および北海道の地域別の冬日・真冬日の日数の変化(単位:日)

棒グラフは21世紀末の気候と20世紀末の気候との差、細い縦線は年々変動の標準偏差(各地域とも、左:20世紀末、右:21世紀末)を示す。(左)冬日、(右)真冬日の日数。なお、気候モデルの予測値に含まれる系統誤差の影響を軽減するため、アメダスの観測値を用いて統計的補正を施している。

第 2 章 気候変化の将来の見通し

2.2 降水の見通し

世界の降水量は、温室効果ガス濃度の将来シナリオにかかわらず、21 世紀末にかけてゆっくりと増加する予測となっている（図略。IPCC, 2013）。ただし、シナリオによる差は気温の予測ほど明瞭ではない。地域的には亜熱帯で降水量が減少し、中・高緯度で増加するなど、現在の地理的な差異をさらに強めることが予測されている。

日本の年降水量は 21 世紀末に概ね 5%増加し、短時間強雨や大雨も増加することが予測されている（図略。気象庁, 2013）。

北海道の年降水量は 21 世紀末に概ね 10%増加すると予測される。地域ごとにみると、日本海側・太平洋側で増加すると予測されるが、オホーツク海側では変化傾向は明瞭ではない（図 2.2-1、図 2.2-2）。季節的には冬から春にかけて降水量が増加すると有意に予測される（図略）。

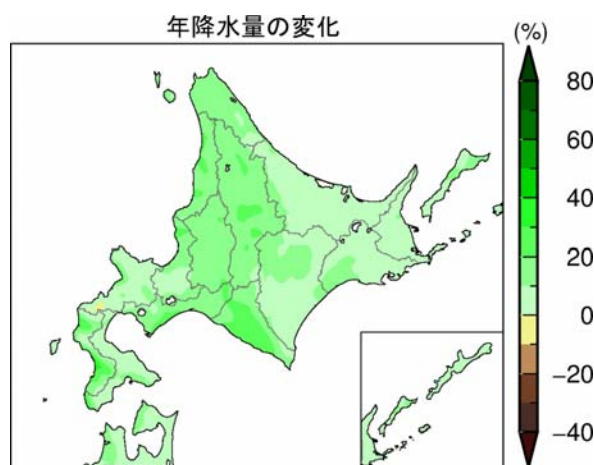


図2.2-1 北海道の年降水量の変化(21世紀末の気候の20世紀末の気候に対する比、単位:%)
20世紀末気候に対する変化率で示す。緑系の色は増加、茶系の色は減少することを示す。

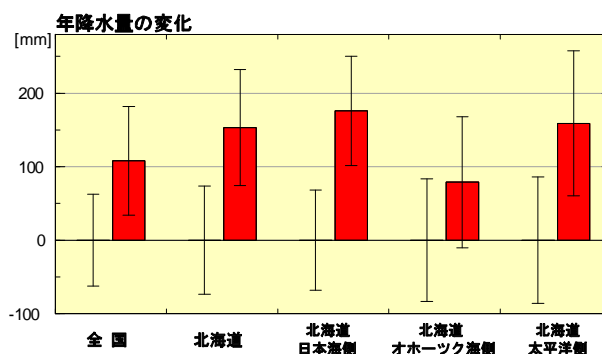


図2.2-2 全国および北海道の年降水量の変化(単位:mm)

棒グラフは21世紀末の気候と20世紀末の気候との差、細い縦線は年々変動の標準偏差(各地域とも、左:20世紀末、右:21世紀末)を示す。

北海道の日降水量 50mm 以上、100mm 以上の年間発生日数および 1 時間降水量 30mm 以上、50mm 以上の年間発生日数は増加すると予測され（図 2.2-3～2.2-6）、地域ごとにみても各地域で増加傾向を示しており、21 世紀末には大雨や短時間強雨の頻度が増加することが予測される。

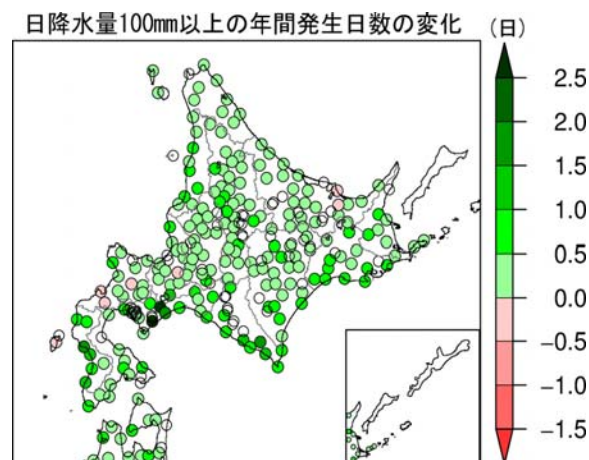


図2.2-3 北海道の日降水量100mm以上の年間発生日数の変化(21世紀末の気候と20世紀末の気候との差、単位:日)

気候モデルの予測値に含まれる系統誤差の影響を軽減するため、アメダスの観測値を用いて統計的補正を施している。

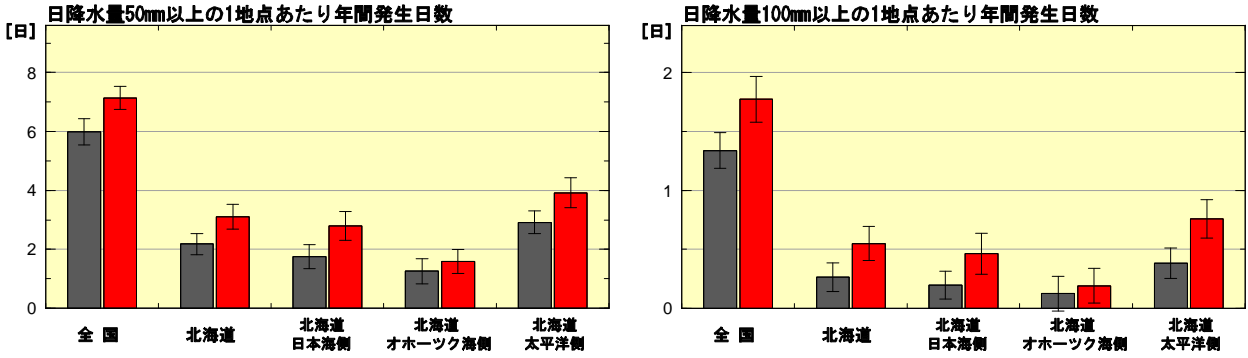


図2.2-4 全国および北海道の大雨の発生頻度の変化(単位:日)

棒グラフは20世紀末の気候(灰色)、21世紀末の気候(赤)における1地点あたりの年間発生日数、細い縦線は年々変動の標準偏差を示す。日降水量(左)50mm以上、(右)100mm以上の年間発生日数。なお、気候モデルの予測値に含まれる系統誤差の影響を軽減するため、アメダスの観測値を用いて統計的補正を施している。

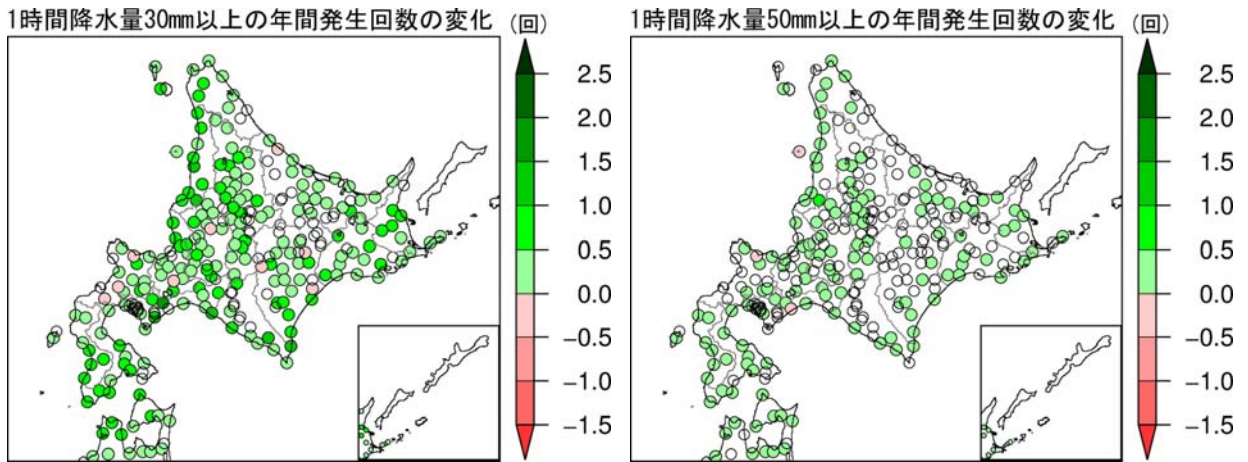


図2.2-5 北海道の短時間強雨の年間発生回数の変化(21世紀末の気候と20世紀末の気候との差、単位:回)

(左)1時間降水量30mm以上の年間発生回数、(右)1時間降水量50mm以上の年間発生回数。なお、気候モデルの予測値に含まれる系統誤差の影響を軽減するため、アメダスの観測値を用いて統計的補正を施している。

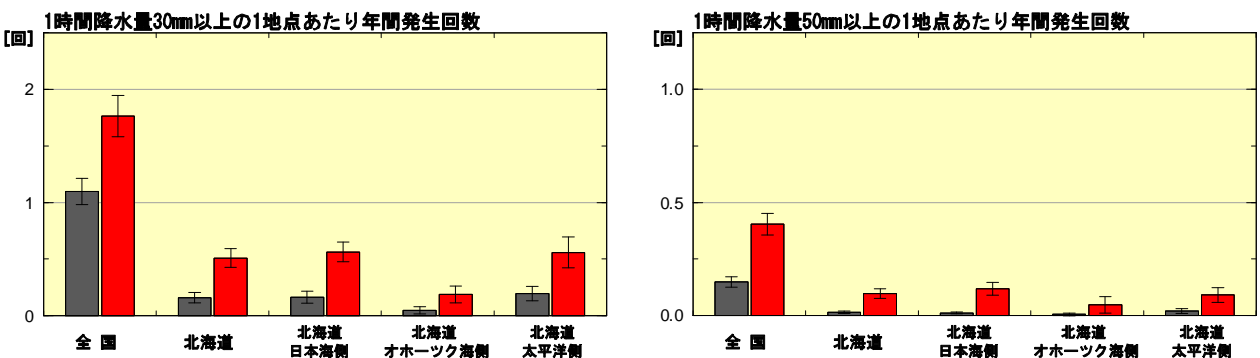


図2.2-6 全国および北海道の短時間強雨の発生頻度の変化(単位:回)

棒グラフは20世紀末の気候(灰色)、21世紀末の気候(赤)における1地点あたりの年間発生回数、細い縦線は年々変動の標準偏差を示す。1時間降水量(左)30mm以上、(右)50mm以上の年間発生回数。なお、気候モデルの予測値に含まれる系統誤差の影響を軽減するため、アメダスの観測値を用いて統計的補正を施している。

第 2 章 気候変化の将来の見通し

2.3 積雪・降雪の見通し

2.3.1 最深積雪

日本の最深積雪は北海道内陸の一部地域を除いて減少し、特に 2、3 月の本州日本海側で変化が大きくなることが予測されている（図略。気象庁, 2013）。北海道の年最深積雪は、内陸の一部地域は増加するものの、全体的には減少すると予測され、地域による減少量の違いも大きくない（図 2.3.1-1、図 2.3.1-2）。一般的に、地球温暖化による気温・海面水温の上昇に伴い大気中の水蒸気量が増加し、降水量も増加する傾向である。温暖化時においては気温の上昇により降雪になる頻度が減り、降雪量が減る傾向になると考えられるが、温暖化時においても十分に寒冷な地域では降水量の増加に伴う降雪量の増加が考えられ、21 世紀末には北海道の内陸の一部において降雪量の増加がみられる（2.3.2 節 参照）。また、北海道の内陸は温暖化時にも降雪が積雪として持続するほど寒冷であることから、内陸の一部では最深積雪も増加すると考えられる。

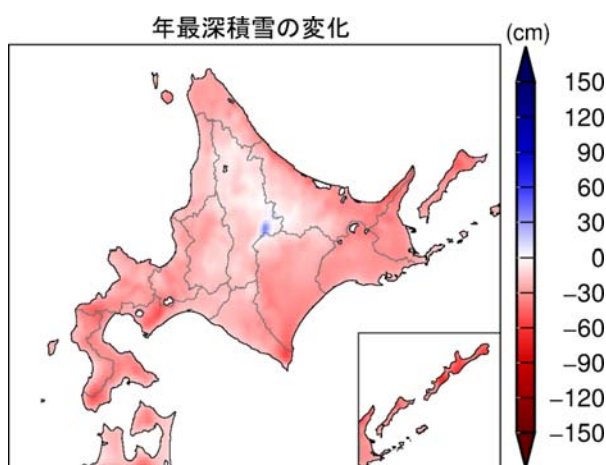


図2.3.1-1 年最深積雪の変化(単位:cm)
21世紀末の気候と20世紀末の気候との差を示す。

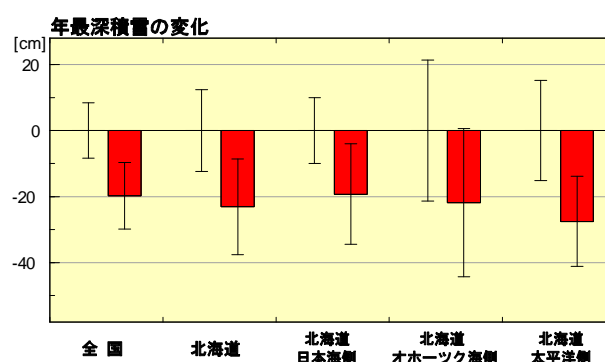


図2.3.1-2 全国および北海道の年最深積雪の変化(単位:cm)

棒グラフは21世紀末の気候と20世紀末の気候との差、細い縦線は年々変動の標準偏差(各地域とも、左:20世紀末、右:21世紀末)を示す。

2.3.2 降雪量

日本の降雪量は、北海道・本州内陸の一部で増加する一方、他の地域では減少することが予測されている（図略。気象庁, 2013）。北海道においても年降雪量は内陸の一部を除いて減少することが

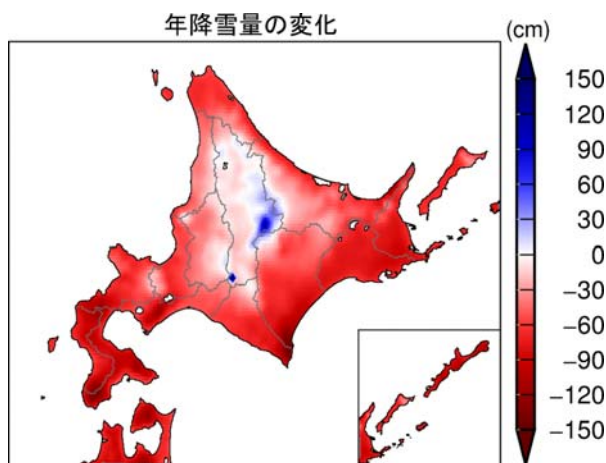


図2.3.2-1 年降雪量の変化(単位:cm)
21世紀末の気候と20世紀末の気候との差を示す。

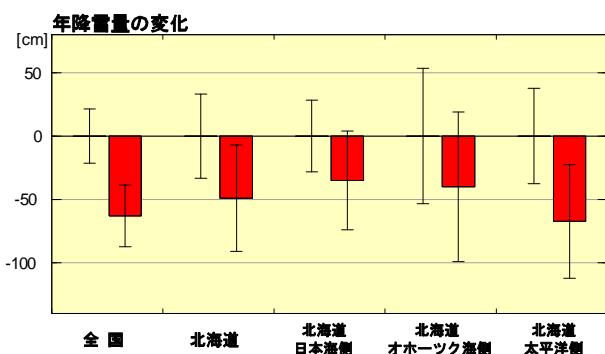


図2.3.2-2 全国および北海道の降雪量の変化(単位:cm)

棒グラフは21世紀末の気候と20世紀末の気候との差、細い縦線は年々変動の標準偏差(各地域とも、左:20世紀末、右:21世紀末)を示す。

予測され（図 2.3.2-1、図 2.3.2-2）、降雪期間のはじめ（11 月）および終わり（3～4 月）は減少傾向がみられる一方で、1 月を中心とした降雪のピークにおいては減少が明瞭ではない（図 2.3.2-3）。

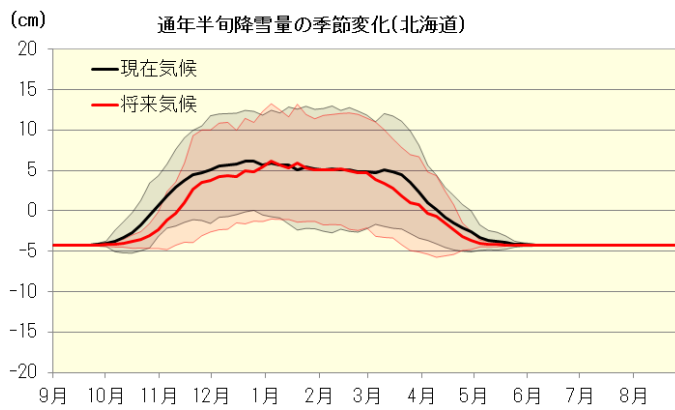


図2.3.2-3 北海道の降雪量の季節進行の変化 (単位:cm)

折れ線は通年の半年値(黒が20世紀末、赤が21世紀末)、陰影は年々変動の標準偏差を示す。5半年で平滑化している。縦軸は20世紀末の気候の年平均からの偏差として示している。

付録1 データの取り扱いについて

地上気象観測所の統計について

北海道には次の22地点の地上気象観測所がある。

稚内、北見枝幸、羽幌、雄武、留萌、旭川、網走、小樽、札幌、岩見沢、帯広、釧路、根室、寿都、室蘭、苫小牧、浦河、江差、函館、倶知安、紋別、広尾

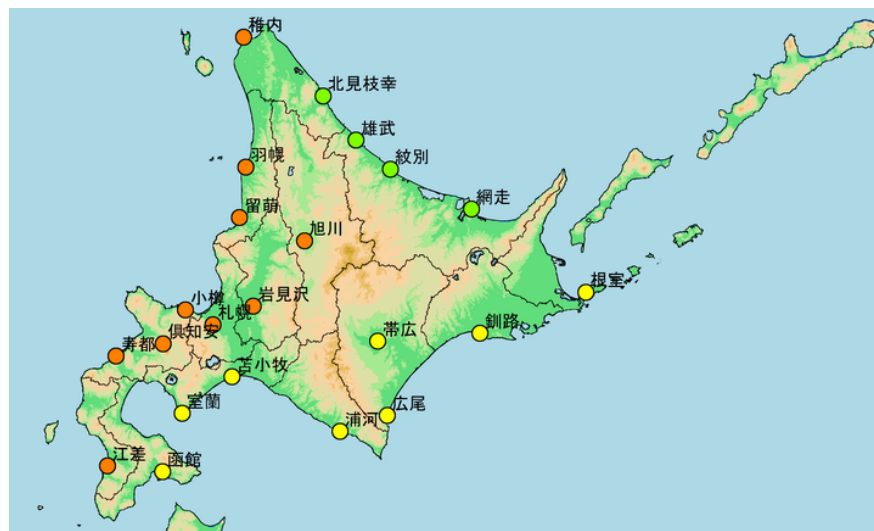


図 地上気象観測所配置図

橙色は日本海側の地点を、緑色はオホーツク海側の地点を、黄色は太平洋側の地点を示す。

平均気温、日最高気温、日最低気温の北海道の平均には、1898年以降現在まで観測を継続している次の7地点の観測データを用いた。

旭川、網走、札幌、帯広、根室、寿都、函館

なお、旭川および函館は、統計期間内に観測露場の移転があったため、移転に伴う影響を補正したデータを用いている。

冬日、真冬日、夏日、真夏日の解析は1931年以降現在まで観測を継続している地点のうち、観測露場の移転の影響がある地点を除いた次の5地点の観測データを用いた。

網走、札幌、帯広、根室、寿都

降水量の北海道の平均には、1901年以降現在まで観測を継続している次の6地点の観測データを用いた。

旭川、網走、札幌、帯広、根室、寿都

年最深積雪の北海道の平均には、日本海側で1962年以降現在まで観測を継続している次の8地点の観測データを用いた。

稚内、留萌、旭川、札幌、岩見沢、寿都、江差、倶知安

なお、年最深積雪の集計は前年8月から当年7月までの1年間について行う。

本書において年最深積雪の長期変化について述べる一方で、降雪量の長期変化について示していないのは観測方法が変更されたことによる。従前は1日3回（地点によっては1日2回）、雪

付録1 データの取り扱いについて

板により降雪の深さを観測していたが、1997年から2005年にかけて積雪計による毎正時の観測を用いて降雪の深さを求めるように変わった。しかしながら、積雪計によって観測された降雪の深さは、雪板によって観測された降雪の深さと必ずしも同等ではない。雪板による観測では、何も乗っていない雪板に新たに積もった雪の深さを観測しているのに対して、積雪計による観測では積雪面に新たに積もった雪の深さを観測しているためである。つまり、何も乗っていない板と自然の積雪面では、雪の積もり方に違いが生じるのである。一方、積雪計によって観測された積雪の深さは、雪尺によって観測された積雪の深さと同等とみなせる。

北海道の平均気温等の解析期間を1898年以降に、降水量の解析期間を1901年以降としているのは、日本の解析期間と合わせることで比較可能とするためである。また、冬日等の解析期間を1931年以降に、年最深積雪の解析期間を1962年以降としているのはそれぞれの統計開始年であることによる。

地点平均を算出する際は、気温および降水量は平年差を用い、年最深積雪は平年比を用いた。年最深積雪の値は地点による差が大きく、平年差を用いると各観測点の変動を適切に反映させることができない。そのため、本書では平年差ではなく平年比（平年に対する割合）を用いている。平年差（比）は、特に断りのない限り、1981～2010年の30年平均値からの差（との比）を示す。

日本の平均気温の解析に用いられている地点は、観測データの均質性が長期間維持され、かつ都市化などによる環境の変化が比較的小さい次の15地点である（気象庁、2016a）。

網走、根室、寿都、山形、石巻、伏木、飯田、銚子、境、浜田、彦根、多度津、
宮崎、名瀬、石垣島

ただし、冬日、真冬日、夏日、真夏日の解析は、観測露場の移転の影響がある飯田、宮崎の2地点を除く13地点を用いている。

日本の降水量の解析には、観測データの均質性が長時間継続している次の51地点のデータが用いられている（気象庁、2016a）。

旭川、網走、札幌、帯広、根室、寿都、秋田、宮古、山形、石巻、福島、
伏木、長野、宇都宮、福井、高山、松本、前橋、熊谷、水戸、敦賀、岐阜、
名古屋、飯田、甲府、津、浜松、東京、横浜、境、浜田、京都、彦根、
下関、呉、神戸、大阪、和歌山、福岡、大分、長崎、熊本、鹿児島、宮崎、
松山、多度津、高知、徳島、名瀬、石垣島、那覇

付録 1 データの取り扱いについて

表 北海道内の気象官署における観測品種と観測開始年

ここに示したものは現在も観測中である。統計年数、観測回数、欠測回数は2015年までの値である。

	さくらの開花日					かえでの紅葉日				
	観測品種	開始年	統計年数	観測回数	欠測回数	観測品種	開始年	統計年数	観測回数	欠測回数
稚内	えぞやまざくら	1953	63	56	7	観測なし				
旭川	えぞやまざくら	1953	63	63	0	やまもみじ	1993	28	23	0
網走	えぞやまざくら	1953	63	58	5	観測なし				
札幌	そめいよしの	1953	63	62	1	やまもみじ	1953	63	54	9
帯広	えぞやまざくら	1953	63	63	0	おおもみじ	1954	62	53	9
釧路	えぞやまざくら	1972	44	44	0	いたやかえで	1955	61	57	4
室蘭	そめいよしの	1953	63	63	0	やまもみじ	1986	30	29	1
函館	そめいよしの	1953	63	63	0	おおもみじ	1953	63	55	8

気候変化の将来の見通しについて

本書では、北海道の気候変化の将来の見通しについて、気象庁が地域気候モデルを用いて 21 世紀末の気候を予測した「地球温暖化予測情報第 8 巻」(気象庁, 2013) の計算結果に基づいて述べている。その詳細については「地球温暖化予測情報第 8 巻」を参照されたい。

この地域気候モデルでは、全球気候モデルによる結果に、さらに格子間隔の小さな領域モデルを適用することによって日本付近の気候をクローズアップする力学的ダウンスケールと呼ばれる手法が用いられている。領域モデルには水平解像度 5km の非静力学地域気候モデルを用いている。高解像度の気候モデルを用いることで、平均的な気候の変化に加えて大雨等の顕著現象の評価が可能となっている。なお、この地域気候モデルでは都市の将来変化の影響は考慮されていない。

将来予測には温室効果ガスの排出想定が必要であるが、ここでは SRES A1B シナリオ (IPCC, 2000) に基づく温室効果ガス濃度を外部強制力としている。SRES シナリオは IPCC 第 4 次評価報告書で用いられたシナリオであり、単純な比較はできないが、SRES A1B シナリオは IPCC 第 5 次評価報告書 (IPCC, 2013) で用いられた RCP シナリオの RCP 6.0 にほぼ相当する (van Vuuren and Carter, 2014)。

本書で示す予測では温室効果ガスの将来変化について単一のシナリオについてのみを対象としており、他のシナリオを用いた場合には異なる予測結果となる可能性がある。また、数値計算上の仮定や近似に由来するモデル固有の特性、大気・海洋の自然変動のタイミング等に起因する予測の不確実性がある。地域を限定した予測はより広い範囲で領域平均した場合よりも自然変動の不確実性が現れやすいため、北海道の気候変化の将来の見通しについては、世界平均や日本平均の予測よりも不確実性が大きくなる。気候変化予測では一般に、気温よりも降水の予測の不確実性が大きく、変化傾向の検出は困難になることにも注意が必要である。

変化傾向の有意性の評価について

気温や降水量等の観測値は、様々な時空間スケールの大気や海洋の運動のため、大きく変動している。自然変動を背景に地球温暖化に伴う気候系の変化傾向をとらえるためには、観測データを適切な統計量に変換し、時系列で並べた統計量にランダムな変動要因だけでは説明しにくい系統的な変化傾向が含まれている可能性がどの程度か検定を行う。この「統計的検定」の結果、経年変化がランダムな変動要因だけでは説明できないと判断することが妥当な場合には、「統計的に有意な変化傾向がある」等と表現される。

本書の第1章（北海道のこれまでの気候変化）では、統計量にみられる経年変化傾向の有無の可能性について、変化傾向を線形回帰よって求め、その統計的有意性を99%、95%、90%の信頼度水準で検定した結果を判断基準としており、本文中ではt検定およびKendall検定の双方において基準を満たしたときにそれぞれ下表のとおり対応させて記述している。また、変化傾向が信頼度水準90%以上で統計的に有意な場合は、グラフ内に太い直線で描画するとともに単位期間あたりの変化率を記している。

信頼度水準	本文中に対応する記述
99%以上で有意	「増加(減少)している」「上昇(下降)している」
95%以上で有意	「増加(減少)傾向が明瞭に現れている」「上昇(下降)傾向が明瞭に現れている」
90%以上で有意	「増加(減少)傾向が現れている」「上昇(下降)傾向が現れている」
上記以外	「変化傾向はみられない」

第2章（将来の見通し）では、信頼度水準が90%以上で統計的に有意な場合に下表に対応させて記述している。有意性の検定には要素によってt検定またはMann-Whitney検定を用いている。また、将来の見通しのグラフには20世紀末気候および21世紀末気候における年々変動の標準偏差を記している。

信頼度水準	本文中に対応する記述
90%以上で有意	「増加(減少)する」などと記述する
上記以外	「変化傾向はみられない」などと記述するか、または変化について特に言及しない

統計的検定では、原理的に、「統計的に有意」と判定されてもその結果が誤りである可能性が常に存在する。「信頼度水準90%（95%、99%）以上で統計的に有意」の場合には、観測値における経年変化傾向がランダムな変動要因により出現しているにもかかわらず誤って有意と判定してしまう確率をそれぞれ最大で10%（5%、1%）まで許すことを意味している。逆に、系統的な変化傾向が存在していても、それを正しく検出できない場合もある。一般に、統計年数が短い、年々の変動幅が大きい、発生頻度が稀、等の場合には、今後新しいデータが追加されることにより検定結果が変化する可能性が大きい。本書の分析結果は、以上の性質に留意の上で活用されたい。

付録 2 用語集

用語	用語の説明
地上気象観測所	北海道内 8 か所の気象台・測候所では、気圧、気温、湿度、風向・風速、降水量、積雪の深さ、降雪の深さ、日照時間、日射量、雲、視程、大気現象等の気象観測を行っている。雲、視程、大気現象等は観測者が目視によって観測しているが、その他は地上気象観測装置によって自動的に観測を行っている。また、北海道内に 14 か所ある特別地域気象観測所では地上気象観測装置による自動観測のみを行っている。
アメダス	「Automated Meteorological Data Acquisition System (AMeDAS)」の略で「地域気象観測システム」という。 雨、風、雪などの気象状況を時間的、地域的に細かく監視するために、降水量、風向・風速、気温、日照時間の観測を自動的におこない、気象災害の防止・軽減に重要な役割を果たしている。アメダスは 1974 年 11 月 1 日から運用を開始して、2017 年現在、降水量を観測する観測所は北海道内で 225 か所あり、このうち、173 か所では気温なども観測している。118 か所では積雪の深さも観測している。
平年差、平年比	平年値からの差、および平年値との比 平年値は、特に断りのない場合、1981～2010 年の 30 年間の平均値。
冬日	日最低気温が 0℃未満の日
真冬日	日最高気温が 0℃未満の日
夏日	日最高気温が 25℃以上の日
真夏日	日最高気温が 30℃以上の日
寒候年	降雪の深さや積雪の深さなど、主に冬季に観測する要素については、年をまたいで統計する。その期間を寒候年という。寒候年の統計は、特に断りが無い限り、前年 8 月から当年 7 月までの 1 年間について行う。
積雪の深さ	自然に積もっている雪のことを積雪という。除雪したり踏み固めたりせず、雪が積もるまま自然の状態にしておき、その地面からの深さを測ったものを積雪の深さという。
降雪の深さ	ある時間内に積もった雪のことを降雪という。 6 時間や 24 時間など一定期間に降り積もった「降雪の深さ」を求めるときには、その期間内の降雪の深さを積算して求める。 降雪の深さは、有人観測所では 1997～2005 年以前は 1 日 3 回の雪板による「降雪の深さ」の観測（夜間閉鎖の観測所では 1 日 2 回）を合計して求めていたが、現在は積雪計の毎正時の観測値を用いて求めている。
雪尺	気象台において 1997～2005 年以前に「積雪の深さ」を測るのに用いていた cm 目盛りを付けた白い柱（材質は問わない）で、下部を地中に埋

	めて鉛直に立てる。標準の雪尺は 7.5cm 角で、長さは目盛り部分が 3m、地中にある部分が 1m である。
積雪計	2~4m の高さに送受波器を設置し、送受波器から雪面までの距離を測定することによって「積雪の深さ」を測る機器。雪面までの距離を測定する方式によって、超音波式と光電式に分けられる。
雪板	気象台において 1997~2005 年以前に「降雪の深さ」を測るのに用いていた平らな木の板の中央に板の面に垂直な柱を立てたもので、その柱は全体を白く塗装し、柱の面には cm 目盛りが付けてある。標準の雪板は辺の長さが 50cm の木製の角板に 6cm 角・長さ 50cm 余りの木柱を立てたものである。定められた観測時刻に観測した後は、観測後に雪板の上の雪を払いのけ、板の面と雪面とが同一面になるようにしておく。
流氷初日	観測地点の視界外の海域から漂流してきた流氷が、視界内の海面で初めて見られた日。
流氷終日	視界内の海面で流氷が見られた最後の日。
流氷期間	流氷初日から流氷終日までの期間。
流氷接岸初日	流氷が接岸、または定着氷と接着して沿岸水路が無くなり、船舶が航行できなくなった最初の日。
海開け	全氷量（観測地点における全海域（港内を含める）に対して、海氷の占める割合。10 分位法で表す。）が 5 以下になり、かつ沿岸水路ができて船舶の航行が可能になった最初の日。網走のみで観測している。
線形回帰	2 つの変数 X と Y のデータ((X1,Y1)、(X2,Y2)、…、(Xi,Yi)、…)があるとき、Yi と aXi+b の差が最も小さくなるように係数 a および b を決めること。Y が時系列のデータの場合、a は長期変化傾向となる。 線形回帰係数の有意検定は、a=0 である(傾向はない)という仮説（帰無仮説）をたて、この仮説が棄却できるかどうかで判断する。
IPCC	気候変動に関する政府間パネル。 世界気象機関（WMO）と国連環境計画（UNEP）により、1988 年に設立された。気候変動の（1）自然科学的根拠、（2）影響・適応策および脆弱性、（3）緩和策 について、各国の科学者や専門家による評価を行い、報告書として取りまとめている。その報告書の内容は、地球温暖化に関する条約交渉などにおいて、さまざまな科学的根拠を与える重要な資料として利用されている。

参考文献

参考文献

藤部文昭, 2012: 都市の気候変動と異常気象 猛暑と大雨をめぐって. 朝倉書店, 176pp.

IPCC, 2000: Special report on emissions scenarios: a special report of working group III of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, p 600.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

気象庁, 2013: 地球温暖化予測情報第8巻.

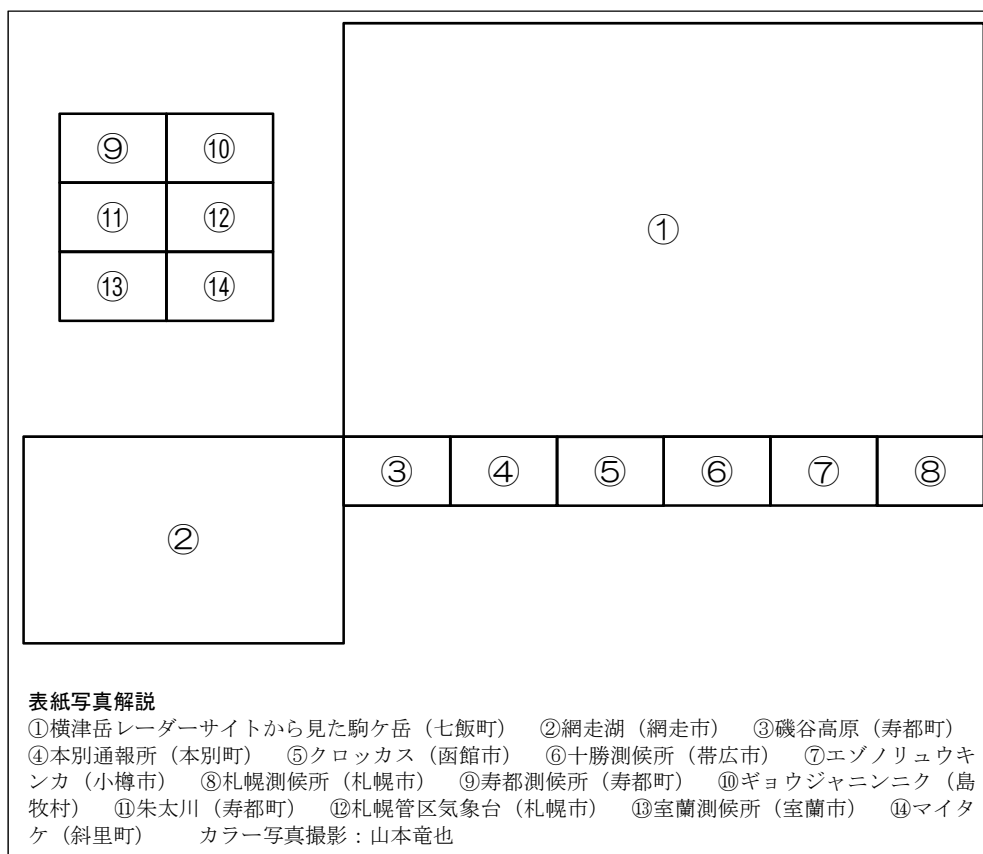
気象庁, 2015: 異常気象レポート 2014.

気象庁, 2016a: 気候変動監視レポート 2015.

気象庁, 2016b: ヒートアイランド監視報告 2015.

札幌管区气象台, 函館海洋气象台, 2010: 北海道の気候変化ー北海道における気候と海洋の変動ー.

van Vuuren, D.P. and Carter, T.R., 2014: Climate and socio-economic scenarios for climate change research and assessment: reconciling the new with the old. *Climatic change*, **122(3)**, pp.415-429.



本稿の一部の地図等の描画には、GMT (The Generic Mapping Tools) を使用した。
 地形図の描画には、米国国立環境情報センター (NCEI) の標高水深データ (ETOPO1) を使用した。

北海道の気候変化【第2版】
 これまでの120年とこれからの予測

2017年3月発行

札幌管区气象台
 〒060-0002 札幌市中央区北2条西18丁目
 電話：011-611-6174（地球環境・海洋課）
 URL：<http://www.jma-net.go.jp/sapporo/>

