

第3節 寒候期の平均気温の変化

- 21世紀末の寒候期の平均気温は、高緯度ほど大きく上昇。
- A1Bシナリオの場合、北海道では3℃以上、東北から西日本では2~3℃、沖縄・奄美では約1.5℃上昇。
- B1シナリオの場合、北海道では1.5~2℃、その他の地域では1~1.5℃上昇。

大気・海洋結合地域気候モデルCRCMによる現在気候(1981~2000年平均)における寒候期(12~3月)の平均気温と、将来気候(2081~2100年平均)における平均気温の差を図3.1(左:A1Bシナリオによる予測、右:B1シナリオによる予測)に示す。また、地域別に平均した気温の変化を図3.2に示す。

A1Bシナリオでは、高緯度ほど気温上昇量が大きく、北海道では3℃を超える上昇が予測されている。これは、気温上昇に伴い、太陽光の反射率が高い積雪や海氷の面積が縮小し、それらの存在期間が短くなるため、地表面が吸収する日射量が増加し、さらに平均気温の上昇を加速するという“正のフィードバック効果”が高緯度ほど強く現れるためと考えられる。一方、東北~西日本では2~3℃の昇温、沖縄・奄美では他の地域より低い約1.5℃の昇温が予測されている。これらの予測結果は、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第4次評価報告書で採用されている21の気候モデルの計算結果から解析されたA1Bシナリオにおける冬季(12~2月)の気温上昇量予測結果(図3.3)よりやや低めの数値となっているが、モデルの違いや予測の不確実性を考慮すると、概ね整合的と判断される。

B1シナリオでは、1~2℃の気温上昇が予測されており、A1Bほど明瞭ではないが同様に高緯度で上昇量が大きい。B1シナリオの三陸沖では、海面水温の変動の影響で気温変化量が小さくなっている。大気と海洋は、温室効果ガスの増加に伴い長期的な傾向として温暖化しつつも、数年から数十年周期の自然変動による一進一退を繰り返す(第2節)。気候モデルでもこのような自然変動が現れ、B1シナリオの将来気候では三陸沖で低温傾向となっており(図2.2)、結果としてこの海域では温暖化による変化量が一部打ち消されている。三陸沖の海面水温の変動は、東北太平洋側の気温変化予測にも影響を与えている可能性があり、変化量の解釈には注意を要する。

過去の日本の冬季(12~2月)の平均気温は、100年あたりおよそ1.1℃上昇しており、高緯度ほど上昇率が大きいことが報告されている(気象庁,異常気象レポート2005)。CRCMによる将来予測は、20世紀に観測された昇温を上回る気温上昇を予測している。

いずれのシナリオ、地域においても、将来気候の平均気温は、現在気候での気温変動の標準偏差の上限値を大きく超えている(図3.2)。これは、現在気候で「暖冬」とされる冬の平均気温をはるかに上回るような暖かい冬が、将来気候では毎年のように出現することを意味している。年々変動の大きさについては、明瞭な変化が見られない。

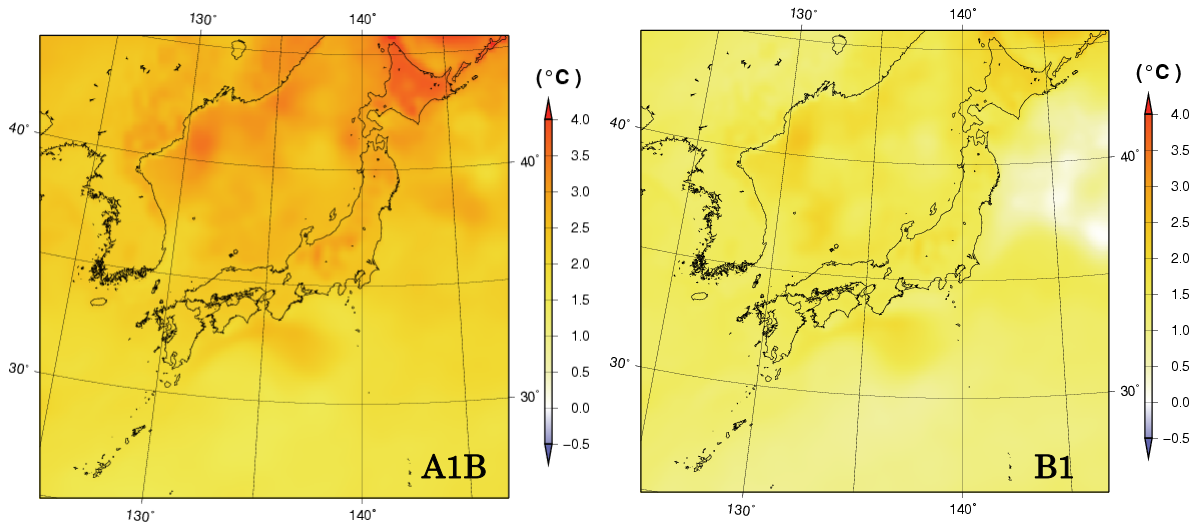


図 3.1 CRCM による寒候期（12～3 月）の平均気温の将来変化予測（°C）。左：A1B シナリオ、右：B1 シナリオ。いずれのシナリオでも高緯度ほど昇温が大きい。B1 シナリオで三陸沖に見られる低昇温域は、温暖化とは異なる要因による自然変動を反映したもので、この領域では温暖化による気温上昇量が一部打ち消されていると考えられる。

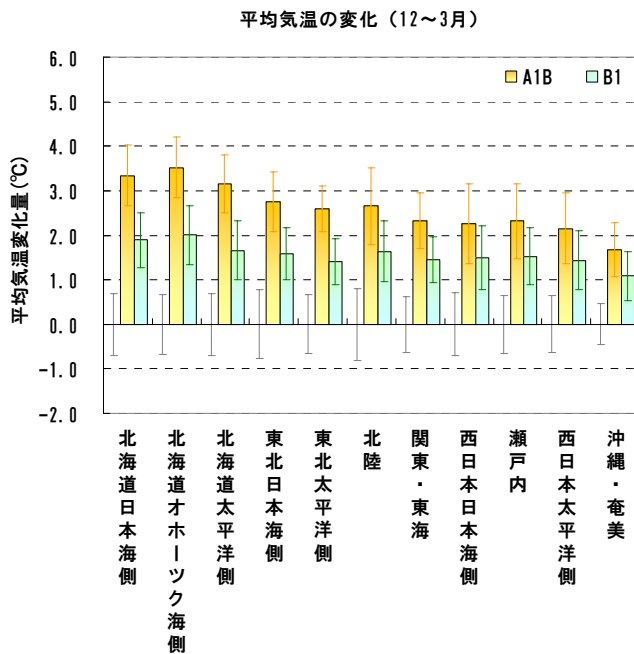


図 3.2 CRCM による寒候期（12～3 月）の地域別平均気温の将来変化。橙色の棒グラフは A1B シナリオ、緑色の棒グラフは B1 シナリオで、現在との差として示されている。灰色、橙色、緑色の細線はそれぞれ現在、A1B、B1 における年々変動の標準偏差の幅を表す。

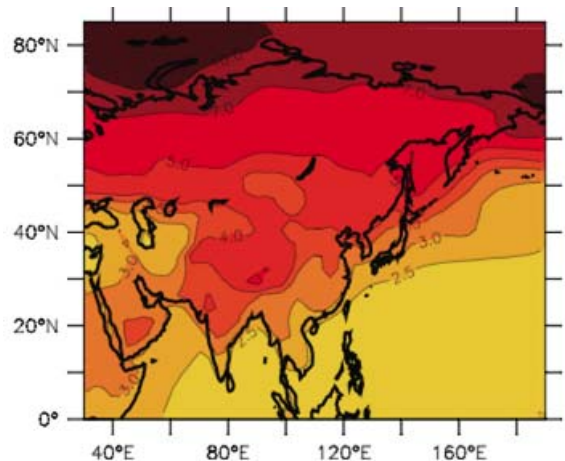


図 3.3 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第 4 次評価報告書第 1 作業部会報告書の将来気候予測に用いられた A1B シナリオに基づく 21 の気候モデルの冬季（12～2 月）の昇温量予測結果。1980～1999 年の期間の平均気温に対する 2080～2099 年の平均気温の変化量。日本付近では 2.5°C～3.5°C の昇温を予測しており、高緯度ほど昇温量が大きいことが示されている。同報告書第 11 章より引用。

第4節 厳しい寒さの出現頻度の変化

- 北海道では、真冬日の出現頻度が現在の半分程度に減少する（A1B シナリオ）。
- 東北では、冬日の出現頻度が現在の半分程度に減少する（A1B シナリオ）。
- 北陸、関東・東海、西日本では、冬日の出現頻度が半減（B1 シナリオ）、あるいはほとんど現れなくなる（A1B シナリオ）。

大気・海洋結合地域気候モデル CRCM による現在気候(1981～2000 年平均)における寒候期(12～3月)の真冬日・冬日⁷の出現率と、将来気候(2081～2100 年平均)における出現率を図 4.1 に示す。表 4.1 には、現在気候、将来気候における地域別の真冬日、冬日の出現率を示す。これは、それぞれの領域内の標高 300m 未満のモデル格子点における日最高・最低気温の現在、将来それぞれ 20 年間の延べ出現回数から算出したものである。ただし、現在気候でも真冬日、冬日のない沖縄・奄美については表 4.1 から省いている。

北海道では、A1B シナリオの場合、真冬日の出現頻度がほぼ半減し、B1 シナリオでも 2/3 程度に減少する。東北地方では、真冬日の出現頻度は A1B シナリオで現在の 1/3 以下、B1 シナリオでも半分程度になり、冬日の出現頻度は A1B シナリオでほぼ半減する。北陸、関東・東海から西日本にかけての冬日の出現頻度は、B1 シナリオではほぼ半減し、A1B シナリオの場合にはほとんど現れなくなると予測される。

表 4.1 現在気候と将来気候における 12～3 月の真冬日・冬日の出現率。標高 300m 未満の地域が対象。いずれもシミュレーションの結果で、現在気候での出現率は実際に観測された数値ではないことに注意。

地 域	真冬日の出現率			冬日の出現率		
	現在	A1B	B1	現在	A1B	B1
北海道日本海側	43.2%	22.5%	30.9%	72.7%	51.4%	59.9%
北海道オホーツク海側	69.8%	42.8%	56.0%	92.6%	74.7%	85.6%
北海道太平洋側	38.7%	16.2%	24.5%	73.5%	46.9%	58.5%
東北日本海側	21.0%	6.2%	12.2%	61.8%	36.8%	48.6%
東北太平洋側	5.0%	1.0%	2.2%	27.7%	12.9%	18.8%
北 陸	0.3%	0.0%	0.1%	5.5%	1.0%	2.2%
関東・東海	0.1%	0.0%	0.0%	9.8%	2.0%	4.2%
西日本日本海側	0.2%	0.0%	0.1%	3.5%	1.1%	2.1%
瀬 戸 内	0.1%	0.0%	0.1%	6.6%	1.4%	2.6%
西日本太平洋側	0.0%	0.0%	0.0%	1.7%	0.4%	0.8%

⁷ 真冬日とは日最高気温が 0℃未満の日、冬日とは日最低気温が 0℃未満の日のこと。

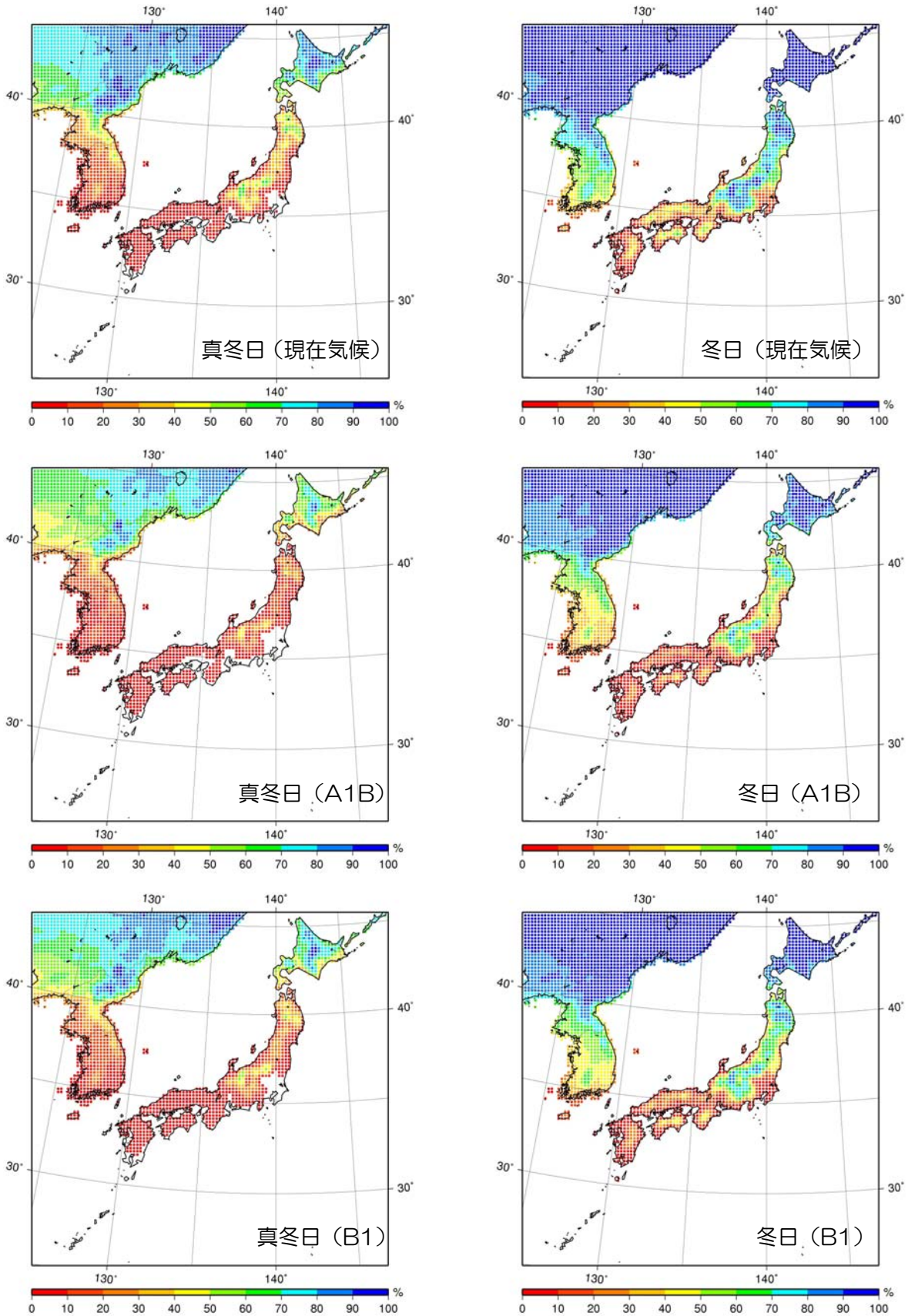


図 4.1 12～3 月の真冬日 (左) および冬日 (右) の出現率。上から順に現在気候、A1B シナリオ、B1 シナリオ。陸上の白い部分は真冬日または冬日が出現しなかった地域を示す。いずれもシミュレーションの結果であり、現在気候での出現率は実際に観測された数値ではないことに注意。

第5節 寒候期の降水量の変化

- 21世紀末の寒候期の降水量は、沖縄・奄美を除いて増加傾向。
- 北海道、東北日本海側で10～30%増加（A1Bシナリオ）。

大気・海洋結合地域気候モデルCRCMによる現在気候(1981～2000年平均)における寒候期(12～3月)の降水量と、将来気候(2081～2100年平均)における降水量の比を図5.1(左:A1Bシナリオによる予測、右:B1シナリオによる予測)に示す。また、地域別に平均した降水量の変化を図5.2に示す。

A1Bシナリオ、B1シナリオとも、ほとんどの地域で降水量が増加する傾向となっており、特に北日本での増加が目立っている。この結果は、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第4次評価報告書で採用されている21の気候モデルの計算結果から解析されたA1Bシナリオにおける冬季(12～2月)の降水量変化予測結果(図5.3)と概ね一致する傾向の予測となっている。

地域別に平均した変化量(図5.2)を見てみると、北海道、東北日本海側、および北陸では、A1B、B1いずれのシナリオでも増加している。北海道と東北日本海側では、特にA1Bシナリオでの増加率が大きく、現在気候における標準偏差の上限をA1Bにおける降水量が上回っている。これは、現在気候で多雨・多雪とされる年の降水量が、A1Bシナリオの将来気候では頻繁に出現することを意味している。A1Bシナリオでは北海道で降水量が約25%増加すると予測されており、これは降水量の絶対値では80～100mm程度の増加に相当する。第6節で述べる降雪量の変化の予測によれば、北海道の標高の高い地域では、これと同程度の降雪量の増加が予測されており、増加する降水量の大半が雪として降ることを示している。一方、標高の低い地域では降雪量はほとんど変化しないと予測されていることから、逆に増加する降水量のほとんどが雨として降ることを示している。東北以南では、降水量が増加する一方で、降雪量が減少するため、雨として降る降水量が増加することになる。

B1シナリオの三陸沖では、海面水温の変動の影響で降水量の減少域が現れている。大気と海洋は、温室効果ガスの増加に伴い長期的な傾向としては温暖化しつつも、数年から数十年周期の自然変動による一進一退を繰り返す(第2節)。気候モデルでもこのような自然変動が現れ、B1シナリオの将来気候では三陸沖で低温傾向となっており(図2.2)、結果としてこの海域では温暖化による変化量が一部打ち消されている。三陸沖の海面水温の変動は、東北太平洋側の降水量予測にも影響を与えている可能性があり、変化量の解釈には注意を要する。

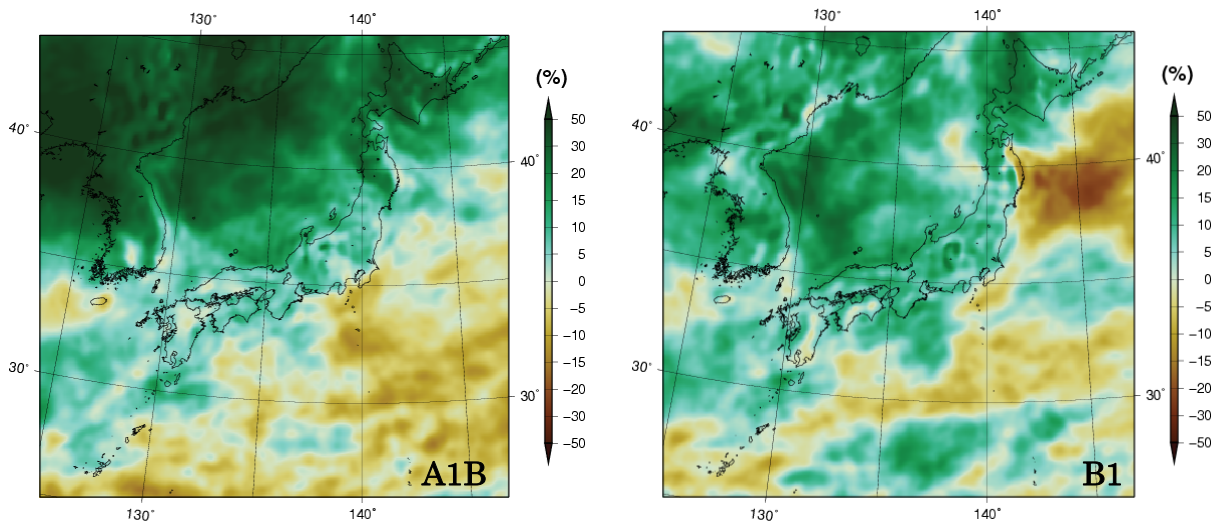


図 5.1 CRCM による寒候期（12～3 月）の降水量の将来変化予測(%）。左：A1B シナリオ、右：B1 シナリオ。B1 シナリオで三陸沖に見られる降水量減少域は、温暖化とは異なる要因による自然変動を反映したものと考えられる。

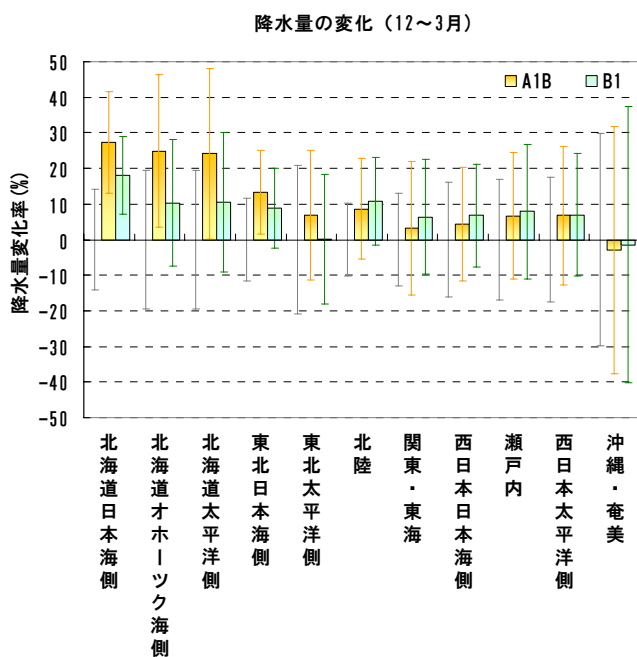


図 5.2 CRCM による寒候期（12～3 月）の地域別降水量の将来変化予測。橙色の棒グラフは A1B シナリオ、緑色の棒グラフは B1 シナリオで、現在との比として示されている。灰色、橙色、緑色の細線はそれぞれ現在、A1B、B1 における年々変動の標準偏差の幅を表す。

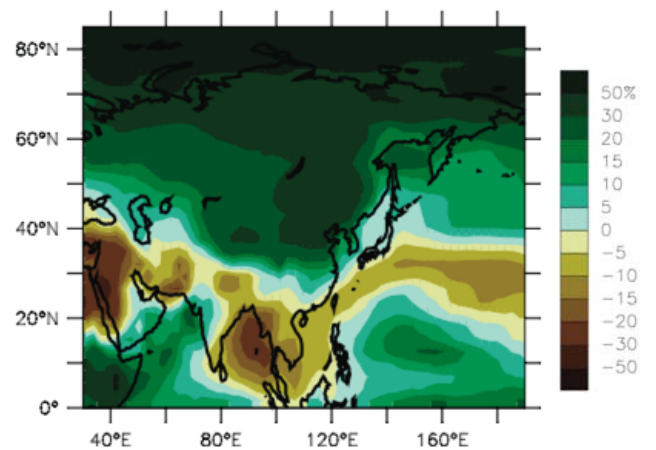


図 5.3 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第4次評価報告書第1作業部会報告書で地球温暖化予測に用いられた 21 の気候モデルの冬季（12～2 月）の降水量変化予測結果。1980～1999 年の平均降水量に対する 2080～2099 年の平均降水量の変化率で、A1B シナリオに基づいている。日本付近では高緯度ほど増加率が大きい。同報告書第 11 章より引用。

第6節 降雪量の変化

- 21世紀末の日本の降雪量は、北海道を除くほとんどの地域で、A1B シナリオ、B1 シナリオともに減少し、B1 よりも A1B で減少量が多い。
- 北海道の標高の高い地域では、A1B シナリオ、B1 シナリオともに降雪量が増加し、B1 よりも A1B で増加量が多い。

大気・海洋結合地域気候モデル CRCM による現在気候(1981~2000年平均)における寒候期(12~3月)の総降雪量と、将来気候(2081~2100年平均)における総降雪量の差を図 6.1 (上: A1B シナリオによる予測、下: B1 シナリオによる予測)に示す。また、地域別の 12~3月の総降雪量の変化を、標高の低い地域(300m 未満)の平均と標高の高い地域(300m 以上)の平均に分けて図 6.2 に示す。月別の降雪量の変化を図 6.3 (標高の低い地域の平均)および図 6.4 (標高の高い地域の平均)に示す。降雪量の算出にあたっては、日平均地上気温が 4℃以下の日の降水を降雪とみなし、現在気候と将来気候における総降雪量の 20 年平均の変化量を降水量換算(mm)で表している⁸。

北海道を除く地域では、A1B、B1 シナリオとも寒候期を通算した総降雪量は減少となっている。A1B での減少量が大きく、現在気候の年々変動の標準偏差の下限を下回っている。これは、現在気候で少雪とされる年の降雪量が、将来気候では頻繁に出現することを意味している。月別に見ると、厳冬期(1月・2月)の減少量は比較的小さいが、12月と3月には大きく減少することがわかる。

北海道では、12~3月を通算した降雪量は標高の低い所では減少も見られるものの、標高の高い所では北海道内全域でシナリオに関わらず増加している。A1B シナリオの日本海側とオホーツク海側では、降

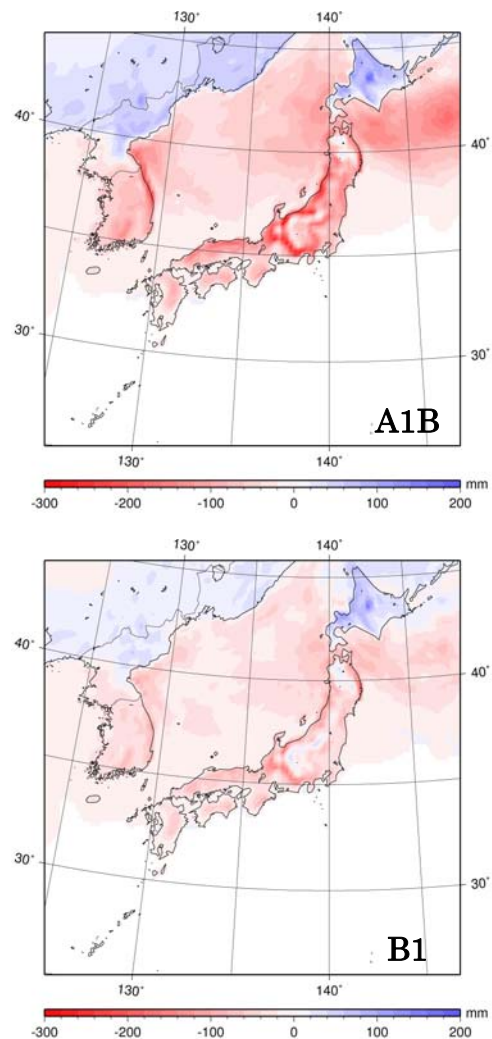


図 6.1 CRCM による寒候期(12~3月)の総降雪量の将来変化量予測。降水量に換算した値(mm)で示す。上: A1B シナリオ、下: B1 シナリオ。

⁸ したがって、ここで使われている降雪量は「降雪とみなされる降水量」であって、実際の降雪の深さを表すものではない。降水量と降雪の深さの関係(雪水比)は、雪の性質により変化する。

雪量の増加が現在気候の年々変動の標準偏差の上限を上回っており、これは現在気候で多雪とされる年の降雪量が、将来気候では頻繁に出現することを意味している。月別に見ると、厳冬期には標高の低い所でも現在と同程度かやや増加する傾向があるが、12月、3月は減少している。標高の高い所では、12月と3月に比べて厳冬期の増加量が多い。

一般に、北海道から西日本にかけての日本海側では、大陸からの寒冷な季節風が比較的暖かい日本海から水蒸気の供給を受けて雲が発生し、雪を降らせる。太平洋側とオホーツク海側では、大陸から南下する寒気の前面で発達する低気圧によって降雪がもたらされる場合が多い。温暖化に伴って降雪量が増加又は減少する要因として、

- ①気温が上昇すると大気に含まれる水蒸気量が増えるため増加
- ②海面水温が上昇して海面から大気により多くの水蒸気が供給されるため増加
- ③気温が上昇し雪ではなく雨として降る場合が増えるため減少

が挙げられる。北海道から西日本にかけて総降水量で見ると増加する傾向が予測されているが（第5節）、東北以南では温暖化に伴って③の効果が卓越して降雪量が減少するものと考えられる。一方、北海道の標高の高い地域では、温暖化しても十分に寒冷なため③よりも①②の効果が上回って降雪量が増加するものと考えられる。

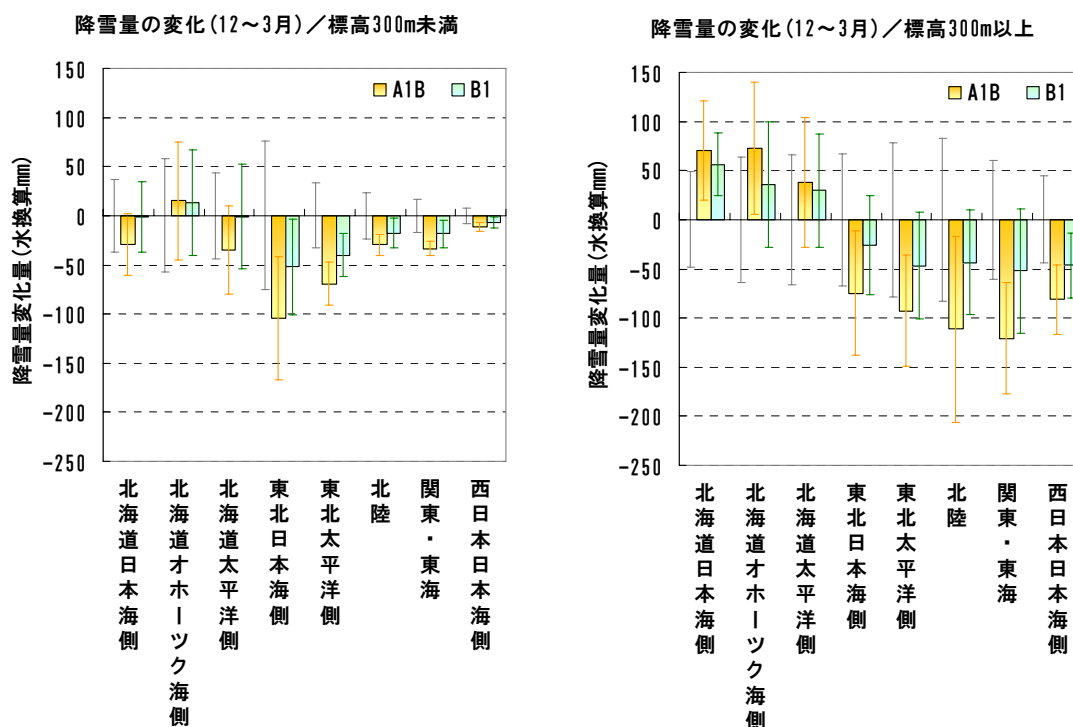


図 6.2 CRCM による寒候期（12～3 月）の地域別総降雪量の将来変化。降水量に換算した値（mm）で示す。橙色の棒グラフは A1B シナリオ、緑色の棒グラフは B1 シナリオで、現在との差として示されている。灰色、橙色、緑色の細線はそれぞれ現在、A1B、B1 における年々変動の標準偏差の幅を表す。左は標高の低い地域（300m 未満）、右は標高の高い地域（300m 以上）の平均。

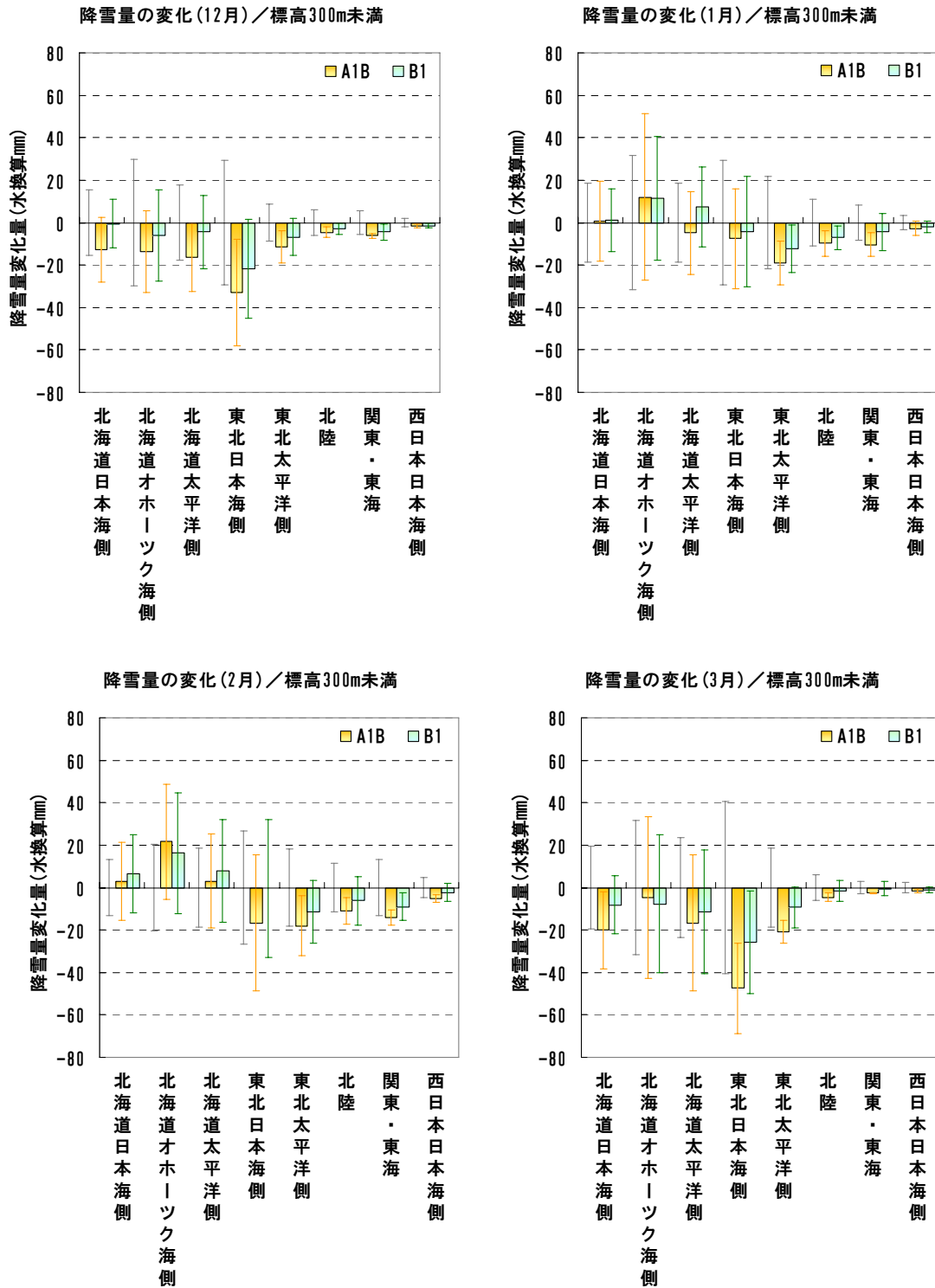


図 6.3 CRCM による寒候期（12～3 月）の月別に見た地域別総降雪量の将来変化。降水量に換算した値（mm）で示す。橙色の棒グラフは A1B シナリオ、緑色の棒グラフは B1 シナリオで、現在との差として示されている。灰色、橙色、緑色の細線はそれぞれ現在、A1B、B1 における年々変動の標準偏差の幅を表す。標高の低い地域（300m 未満）の平均。

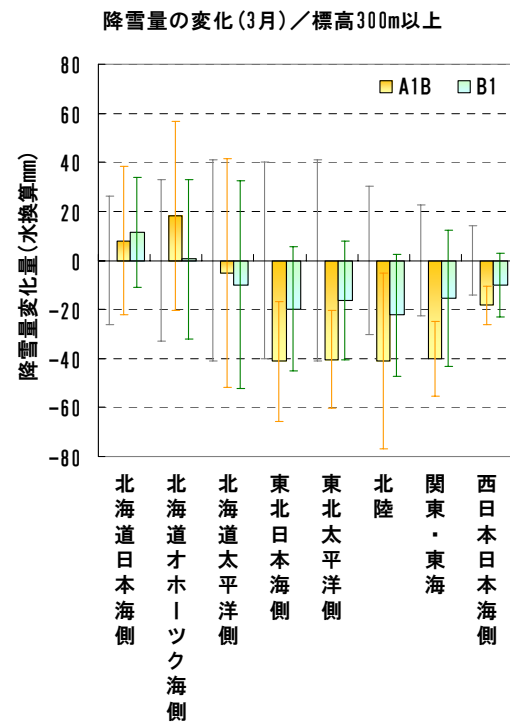
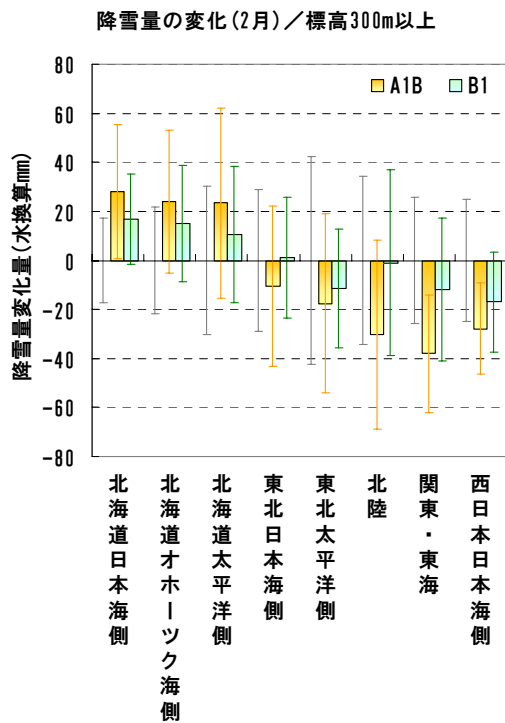
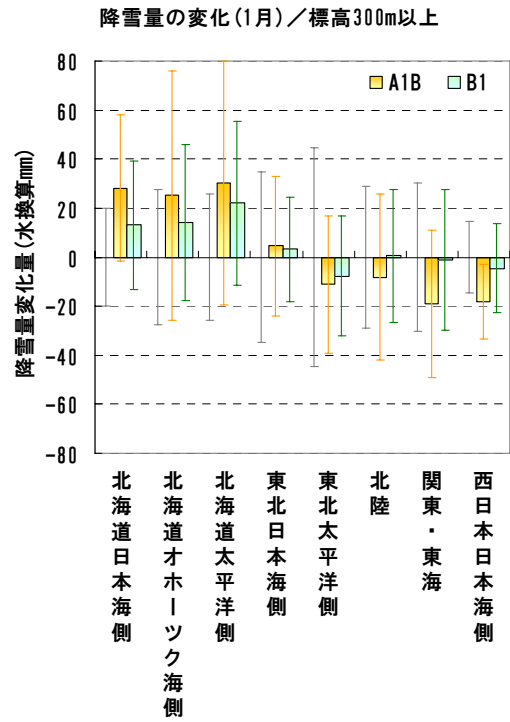
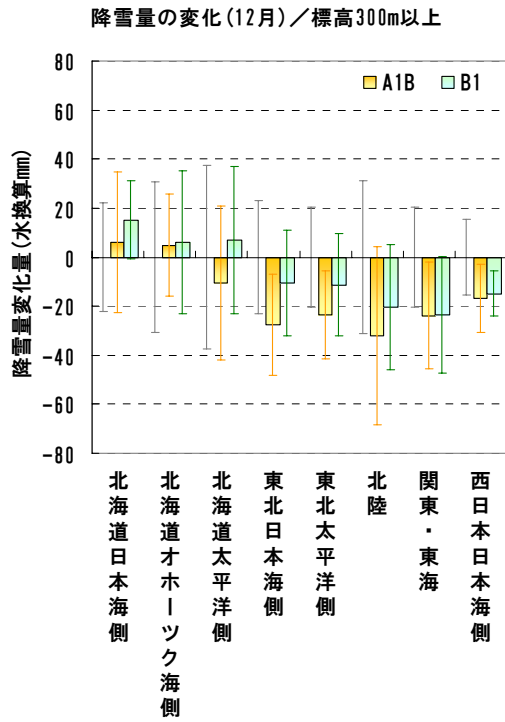


図 6.4 図 6.3 と同じ。ただし、標高の高い地域 (300m 以上) の平均。

第7節 降雪の頻度の変化

- 北海道の標高の高い地域では、大雪の頻度が増加する。増加率は、A1B シナリオで大きい。
- 北海道を除くほとんどの地域では大雪の頻度が減少し、減少率は A1B シナリオで大きい。

大気・海洋結合地域気候モデル CRCM による現在気候(1981～2000年平均)における寒候期(12～3月)の大雪(ここでは日降雪量が降水量換算で20mm以上⁹⁾)の出現回数と、将来気候(2081～2100年平均)における出現回数との差を図7.1(上:A1Bシナリオによる予測、下:B1シナリオによる予測)に示す。また、地域別に平均した「降雪がある日の出現率」および「大雪の日の出現率」の変化を表7.1(標高300m未満の地域)および表7.2(標高300m以上の地域)に示す。これらは、日平均地上気温が4℃以下の日の降水を降雪とみなして、現在気候と将来気候における日降雪量をモデル格子点ごとに降水量換算で算出し、降雪がある日および日降雪量20mmの降雪がある日の20年間の延べ出現回数から算出した。

北海道の標高の高い地域では、A1B、B1シナリオとも日降雪量が20mm以上の降雪の頻度が増加し、その増加率はB1シナリオよりもA1Bシナリオで大きい。北海道を除く地域については、図7.1で見ると東北日本海側～北陸の一部で日降雪量20mm以上の降雪頻度の増加が現れているものの、多くの地域では減少し、減少率はA1Bシナリオで大きい。

降雪がある日の出現頻度は、北海道でははっきりした傾向がないが、東北以南では減少する傾向が見られる。

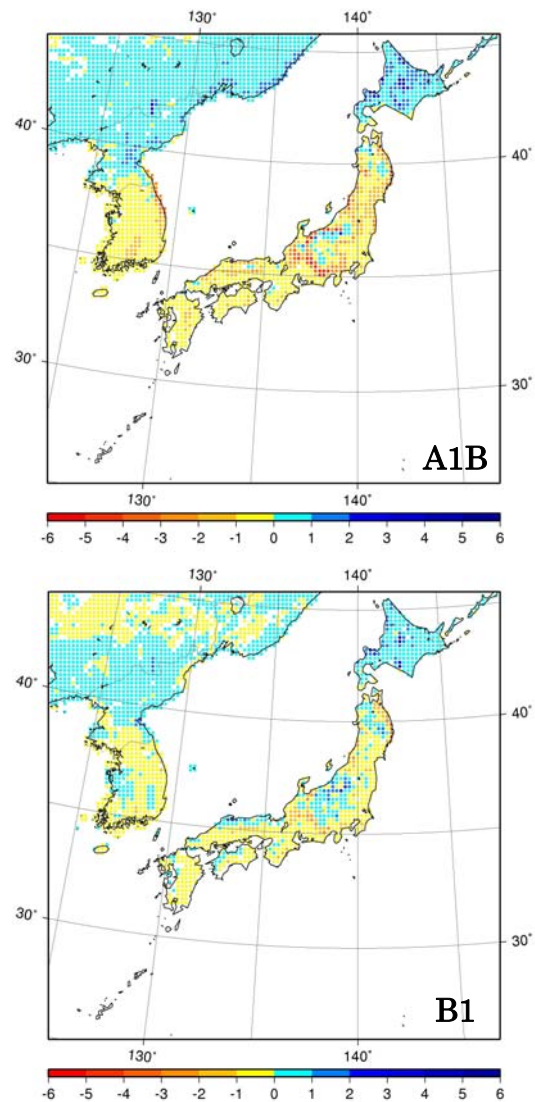


図7.1 日降雪量20mm以上(降水量換算)の一期(12～3月までの121日間)あたりの出現回数の変化。上:A1Bシナリオ、下:B1シナリオ。

⁹⁾ 降水量と降雪深の関係は気象条件に依存し、20mmの降水量は概ね20～40cmの降雪深に相当する。

表 7.1 現在気候と将来気候における 12～3 月の降雪がある日および大雪の日（日降雪量が降水量換算で 20mm 以上）の出現率。標高の低い地域（300m 未満）の平均。いずれもシミュレーションの結果であり、現在気候での出現率は実際に観測された数値ではないことに注意。

地 域	降雪がある日の出現率			大雪の日の出現率		
	現在	A1B	B1	現在	A1B	B1
北海道日本海側	35.8%	30.3%	35.0%	1.3%	1.2%	1.3%
北海道オホーツク海側	39.0%	39.1%	40.3%	2.4%	2.7%	2.6%
北海道太平洋側	26.9%	20.9%	25.7%	1.5%	1.5%	1.6%
東北日本海側	42.5%	31.9%	37.7%	2.6%	1.6%	2.3%
東北太平洋側	13.6%	7.1%	10.8%	1.3%	0.6%	0.8%
北 陸	7.4%	2.8%	4.3%	0.1%	0.1%	0.1%
関東・東海	4.6%	1.3%	2.6%	0.3%	0.1%	0.2%
西日本日本海側	2.8%	1.2%	1.8%	0.1%	0.0%	0.1%

表 7.2 表 7.1 と同じ。ただし、標高の高い地域（300m 以上）の平均。

地 域	降雪がある日の出現率			大雪の日の出現率		
	現在	A1B	B1	現在	A1B	B1
北海道日本海側	48.4%	51.3%	52.0%	1.6%	2.6%	2.3%
北海道オホーツク海側	38.8%	43.2%	42.4%	1.7%	2.7%	2.2%
北海道太平洋側	34.7%	35.3%	36.9%	3.2%	4.0%	3.8%
東北日本海側	47.5%	39.8%	44.6%	3.1%	2.4%	2.9%
東北太平洋側	33.0%	25.6%	30.4%	3.0%	2.1%	2.6%
北 陸	43.8%	33.3%	38.4%	5.2%	4.3%	5.1%
関東・東海	28.7%	19.1%	23.3%	3.1%	1.7%	2.7%
西日本日本海側	23.7%	14.0%	17.7%	1.1%	0.5%	0.8%