

第3章 降水の将来予測

【ポイント】

- 年降水量は北日本で増加する。春季、冬季の降水量は北日本及び太平洋側で増加する。
- 大雨や短時間強雨の発生頻度は全国的に増加する。
- 無降水日数が増加する。

3.1 平均と年々変動の変化

3.1.1 年・3か月間降水量

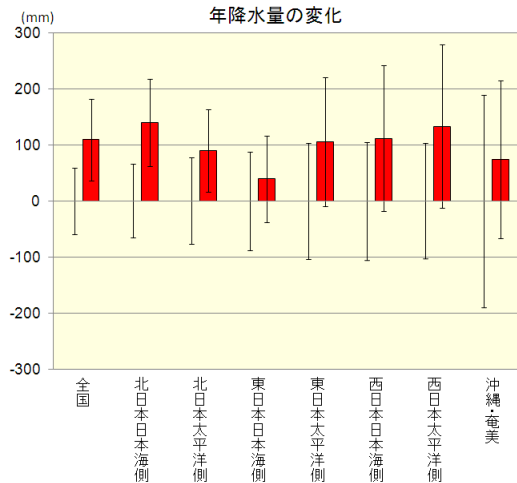
地域気候モデルによる現在気候における降水量と、将来気候における降水量との差を、全国及び地域別の平均として図 3.1-1 及び付表に示す。また、年及び季節ごとの降水量の予測される変化率の分布を図 3.1-2 に示す。

年降水量の全国平均は、有意に増加している。地域別に見ると、北日本日本海側・北日本太平洋側で有意に増加する予測となっている。これは、世界的な傾向として、高緯度地域で増加する可能性が非常に高い (IPCC, 2007) と予測されていることと整合的な結果となっている。他の地域平均では、年々変動が大きく、統計的に有意な変化とはなっていない。

冬から春にかけて、太平洋側で降水量が有意に増加している。3.3.1 で述べるように、冬の太平洋側では無降水日数が減少する地域が見られることから、偏西風の位置の北上や、冬型の気圧配置の弱まりに伴って、降水の頻度が増えるためと考えられる。これは、温暖化に伴って偏西風が極寄りにシフトすると予測されていること、太平洋側よりも大陸側で大きく気温が上昇し、冬季の東西の気圧勾配が小さくなると予測されていることと整合的である。さらに、3.2.1 で述べるように、強雨によってもたらされる降水量の割合が増えていることも影響していると考えられる。

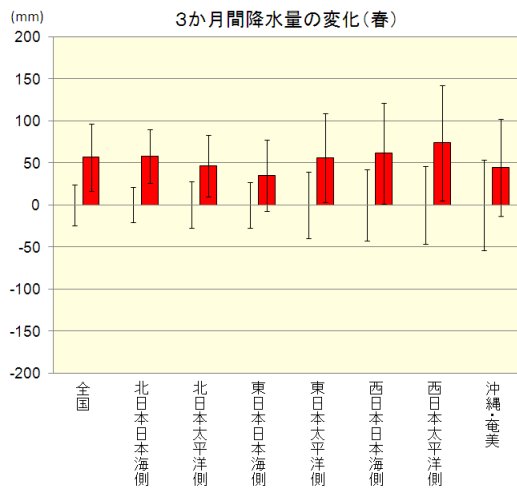
夏については、北日本で有意に増加する地域が見られるものの、全国的には変化傾向は明瞭でない。図 3.1-2 の分布を見ると、西日本の一部では減少となっている地域もあるが、地域平均として見ると (1.3-5 (イ)、1-4 (イ))、有意な変化ではない。夏は梅雨や台風による降水量の年々変動の幅が大きいため、統計的に有意な変化としては現れにくいためと考えられる。秋は統計的には有意ではないものの、降水量が減る傾向は全国的に広がっている。これは無降水日数の増加(3.3 参照)と一致しており、降水の頻度の減少が総降水量の減少傾向に結びついているものとみられる。

(a)

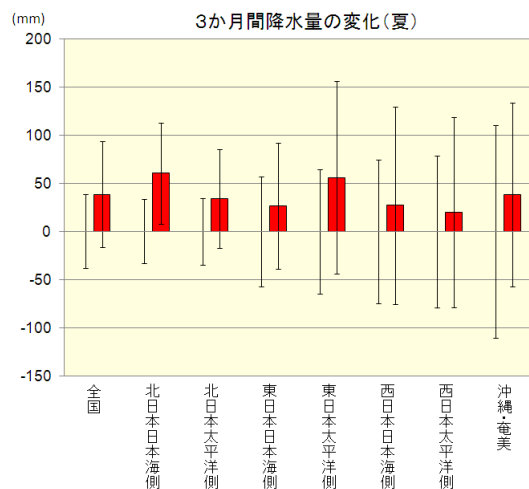


	年	春	夏	秋	冬
全国	109.1	56.8	38.6	-27.9	41.6
北日本日本海側	139.5	57.8	60.5	-20.7	41.9
北日本太平洋側	89.4	46.4	34.1	-37.2	46.1
東日本日本海側	39.3	35.0	26.7	-46.6	24.2
東日本太平洋側	105.6	55.7	55.9	-56.9	51.1
西日本日本海側	111.7	61.3	27.1	0.3	23.1
西日本太平洋側	133.1	73.7	19.9	-10.7	50.3
沖縄・奄美	74.4	44.9	38.0	1.8	-10.4

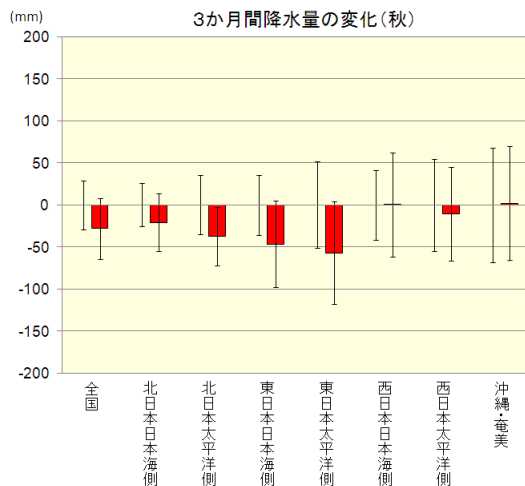
(b)



(c)



(d)



(e)

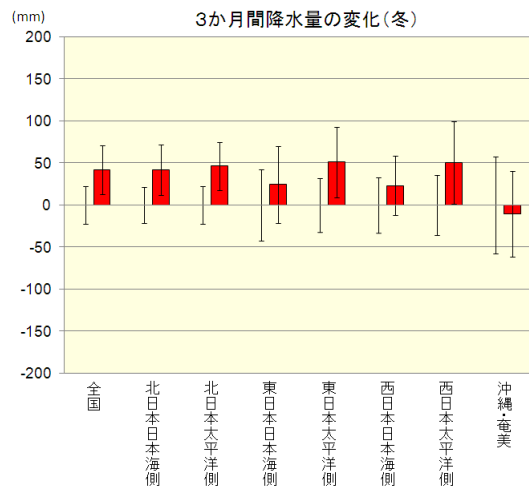


図 3.1-1 及び付表 地域別の降水量の変化(将来気候の現在気候との差)

棒グラフが現在気候との差、縦棒は年々変動の標準偏差(左:現在気候、右:将来気候)を示す。(a):年間、(b):春(3~5月)、(c):夏(6~8月)、(d):秋(9~11月)、(e):冬(12~2月)。右上の付表は増加(減少)の数値を示し、その変化量が現在気候の年々変動の標準偏差以上の場合は水色(オレンジ色)に、信頼度水準90%で統計的に有意でない場合には灰色に塗りつぶしている。

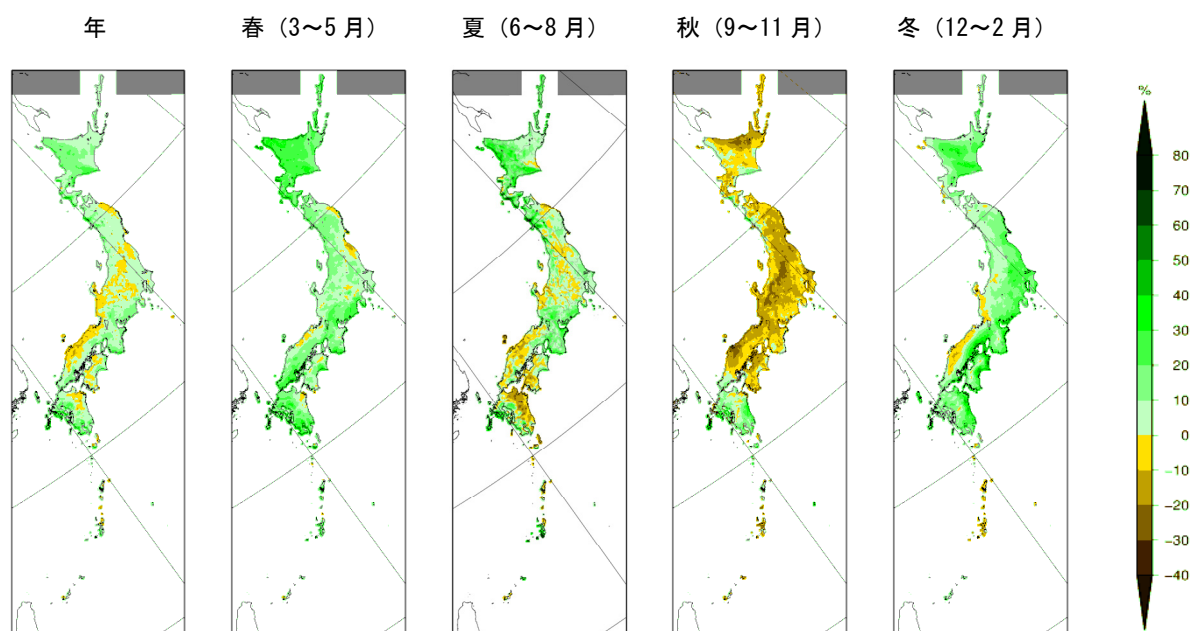


図 3.1-2 降水量の変化（将来気候の現在気候に対する比）

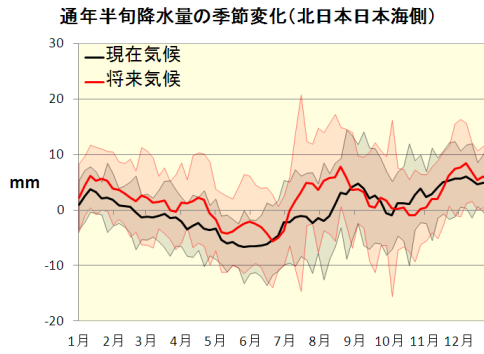
現在気候に対する変化率で示す。単位は%で、緑系の色は増加、茶系の色は減少することを示す。

3.1.2 季節進行の変化

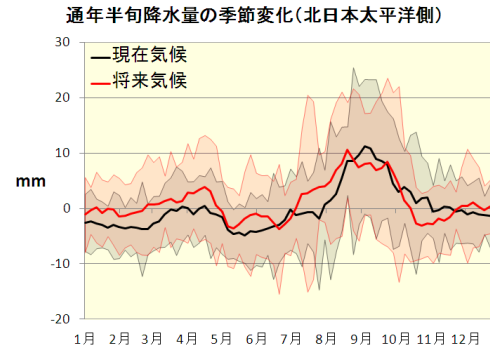
地域気候モデルによる現在気候及び将来気候における地域ごとの半旬降水量の季節進行を図 3.1-3 に示す。いずれの地域、季節についても、将来気候の降水量の変化は、現在気候の年々変動の範囲に収まっているものの、次のような特徴が見られる。

北日本、東日本太平洋側、西日本太平洋側では、冬から春にかけて降水量が増加している。西日本では、梅雨明け後の降水量の減少がやや不明瞭になっており、Kitoh and Uchiyama (2006)や Hirahara et al. (2012)で指摘されている温暖化に伴う梅雨明けの遅れと整合的な予測結果となっている。沖縄・奄美は6月頃に増加しているが、この時期の現在気候の降水量に負のバイアスがあること（補遺 1）、年々変動の大きさが将来気候で大きくなっており特定の年の降水量の影響を受けている可能性があることから、この増加傾向については不確実性が大きいと考えられる。

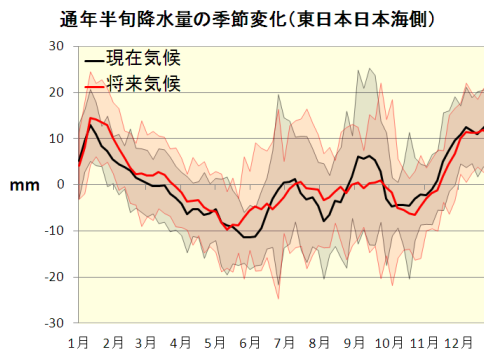
(a)



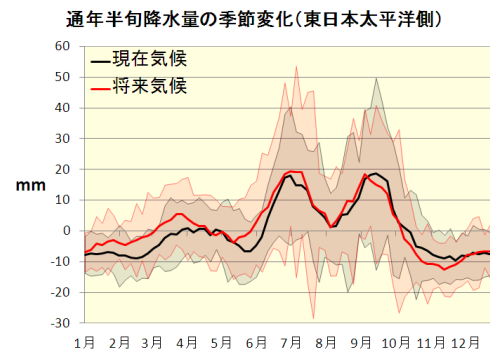
(b)



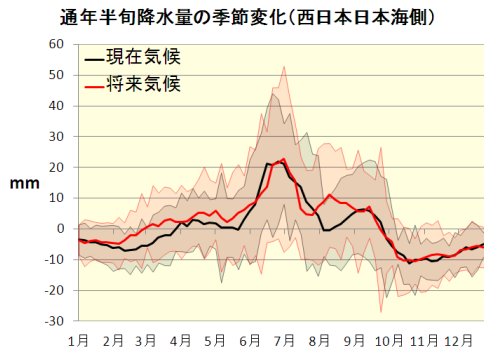
(c)



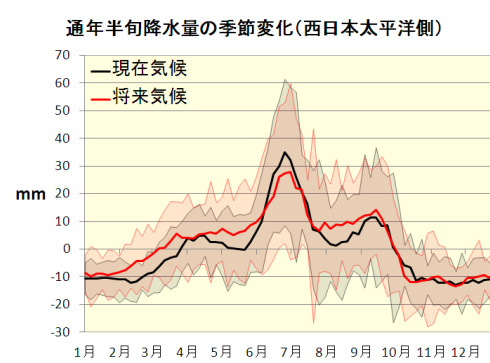
(d)



(e)



(f)



(g)

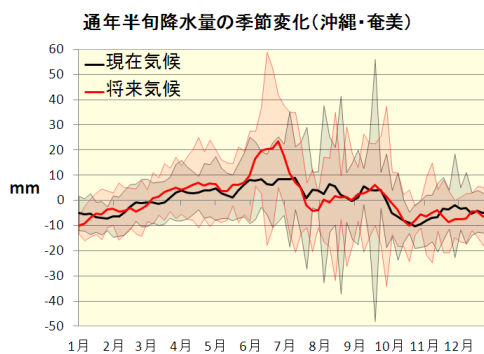


図 3.1-3 地域別の降水量の季節進行の変化(現在気候の年平均との差)

折線は通年半年値、陰影は年々変動の標準偏差を表す。5 半年で平滑化している。黒が現在気候、赤が将来気候である。縦軸は現在気候の年平均値からの偏差として示している。(a)：北日本日本海側、(b)：北日本太平洋側、(c)：東日本日本海側、(d)：東日本太平洋側、(e)：西日本日本海側、(f)：西日本太平洋側、(g)：沖縄・奄美

3.2 大雨や強雨の発生頻度の変化¹

3.2.1 強雨によってもたらされる降水量

地域気候モデルによる強雨（ここでは、各地点における1時間降水量の総発生数に対して、降水量の多い方から上位5%の降水イベントを強雨と定義する。各地点において例年複数回観測されるレベルの強い雨に相当する。1.3-4を参照されたい。）によってもたらされる降水量について、現在気候と将来気候の比の分布を図3.2-1に示す。

ほとんどの季節、地域で、強雨によってもたらされる降水量は増加する傾向が現れており、春、夏の北日本、冬の東日本・西日本の太平洋側において一層明瞭である。総降水量では減少傾向が見られる地域でも（図3.1-2）、強雨による降水の寄与分としては増加している。これは、温暖化に伴って大気中の水蒸気量が増加する傾向と整合的である。

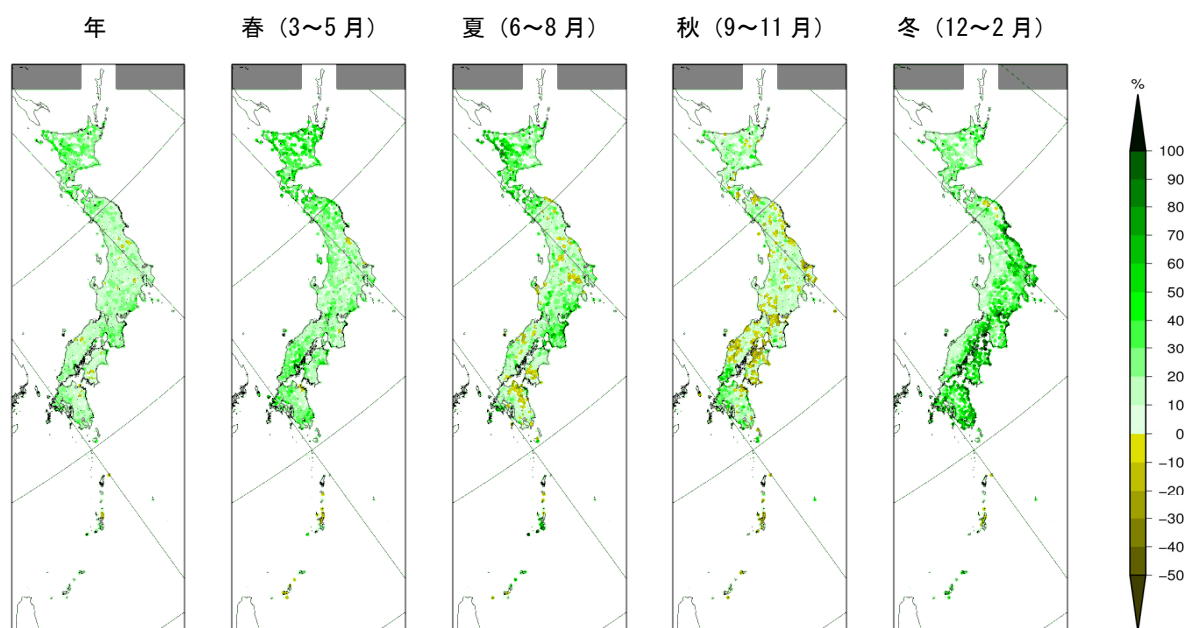


図 3.2-1 強雨によって降る降水量の変化（将来気候の現在気候に対する比）

現在気候に対する変化率(%)で示す。

3.2.2 大雨・短時間強雨の発生回数

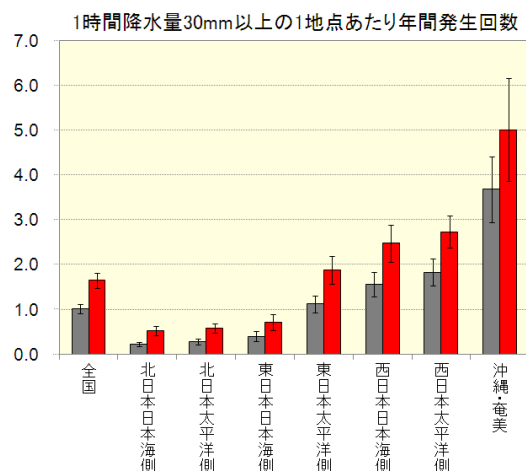
地域気候モデルによる現在気候における大雨（日降水量100ミリ及び200ミリ以上）と短時間強雨（1時間降水量30ミリ及び50ミリ以上）の年間発生回数と、将来における年間発生回数の変化を地域平均で見たものを図3.2-2及び付表に示す。

将来気候では、1時間降水量30ミリ以上、50ミリ以上の発生回数はすべての地域で有意に増加している。日降水量100ミリ以上、200ミリ以上については、全国的に増加傾向となっているが、東日本日本海側と沖縄・奄美では、有意と判定されていない。これは発生回数の変化量の大きさに対して年々変動の幅が大きいためとみられる。

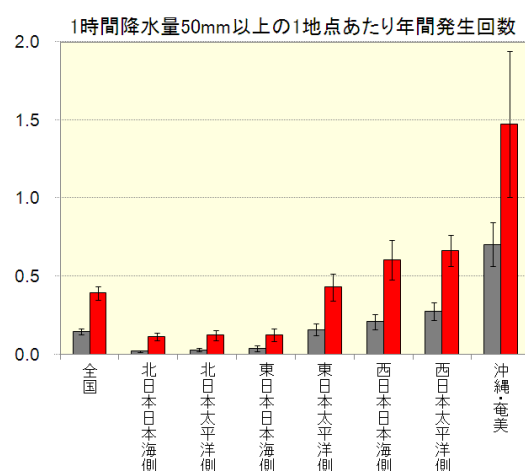
現在気候、将来気候における地域毎の1時間降水量の年間発生頻度分布を図3.2-3に示す。降水量を5ミリ毎の階級に区分し、階級別の相対発生頻度として表している。いずれの地域についても、将来気候において強い雨の発生頻度が相対的に増加する傾向が見られる。

¹本節に示される予測結果は、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たうえで解析したものである（補遺1）。

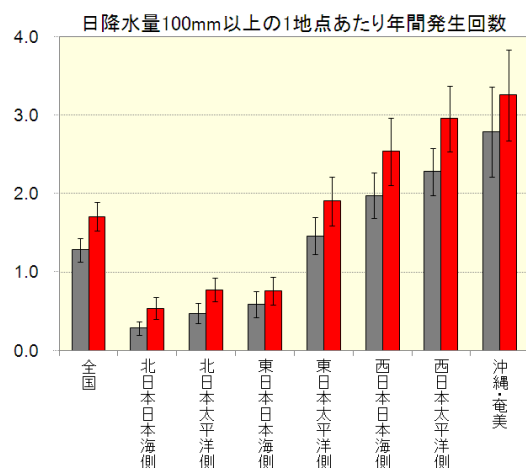
(a)



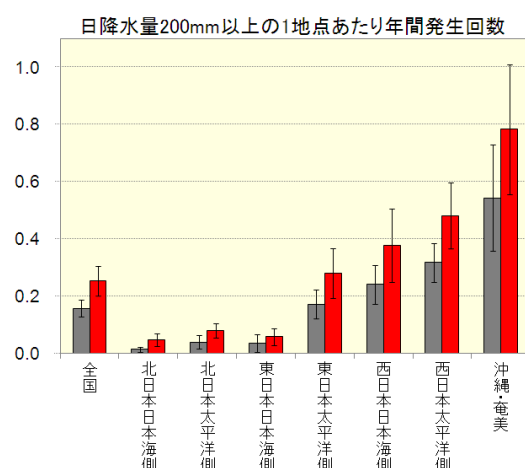
(b)



(c)



(d)



	1時間降水量 30ミリ以上	1時間降水量 50ミリ以上	日降水量 100ミリ以上	日降水量 200ミリ以上
全国	0.63	0.25	0.43	0.09
北日本日本海側	0.31	0.09	0.26	0.03
北日本太平洋側	0.30	0.10	0.30	0.04
東日本日本海側	0.32	0.09	0.18	0.02
東日本太平洋側	0.76	0.27	0.44	0.11
西日本日本海側	0.91	0.40	0.56	0.14
西日本太平洋側	0.91	0.39	0.67	0.16
沖縄・奄美	1.33	0.77	0.47	0.24

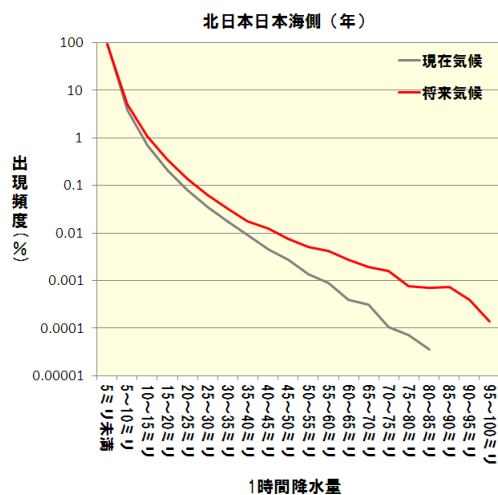
図 3.2-2 及び付表 地域別の大雨・短時間強雨の発生頻度の変化

棒グラフが現在気候(灰)、将来気候(赤)における1地点あたりの年間発生回数、縦棒は年々変動の標準偏差を示す。(a):1時間降水量30ミリ以上、(b):1時間降水量50ミリ以上、(c):日降水量100ミリ以上、(d):日降水量200ミリ以上。左下の付表は、増加(減少)の数値を示し、その変化量が現在気候の年々変動の標準偏差以上の場合水色(オレンジ色)に、信頼度水準90%で統計的に有意でない場合には灰色に塗りつぶしている。なお有意性の判定は、Mann-Whitneyの検定²(Corder and Foreman (2009)など)により行っている。

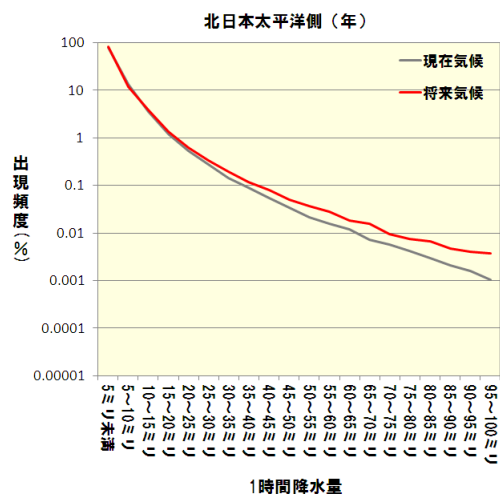
² 現在気候、将来気候のそれぞれ20年を年間発生回数の多い順に並べ順位付けし、順位の現れ方に偏りがあるかどうか検定することで有意性を判定する方法。

(第3章 降水の将来予測)

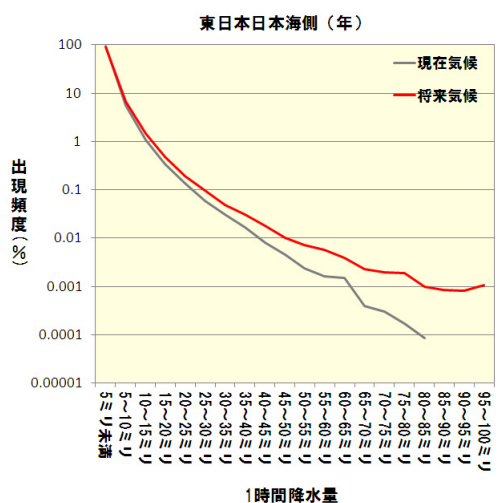
(a)



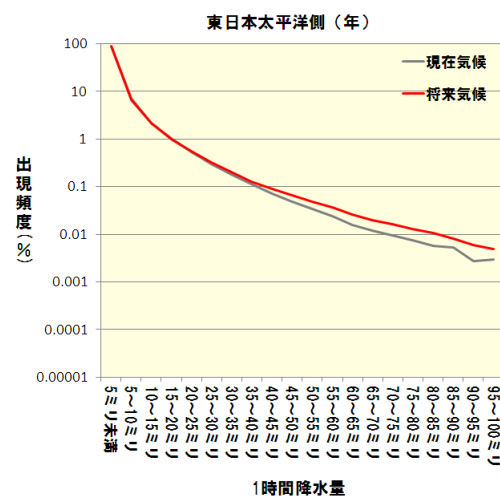
(b)



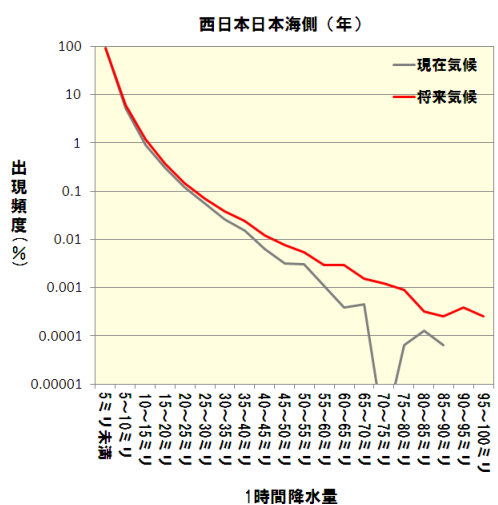
(c)



(d)



(e)



(f)

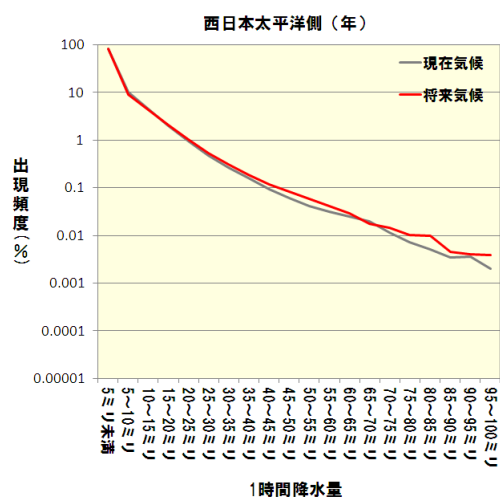


図 3.2-3 地域別の1時間降水量の発生頻度分布の変化

灰色が現在気候、赤が将来気候を示す。横軸が5ミリ毎の階級、縦軸が相対頻度(%)で、対数目盛で表示している。

(a) : 北日本日本海側、(b) : 北日本太平洋側、(c) : 東日本日本海側、(d) : 東日本太平洋側、(e) : 西日本日本海側、(f) : 西日本太平洋側

(g)

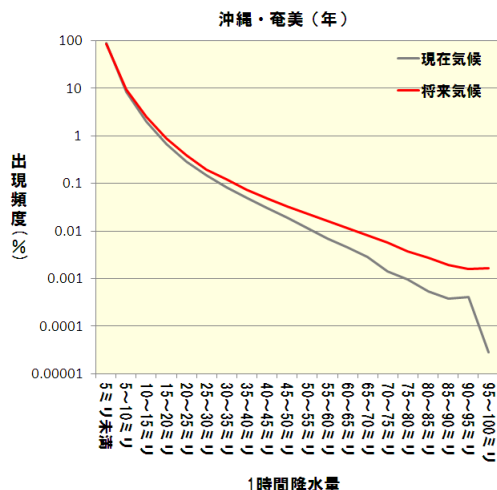


図 3.2-3 地域別の 1 時間降水量の発生頻度分布の変化
(続き)

(g) : 沖縄・奄美。

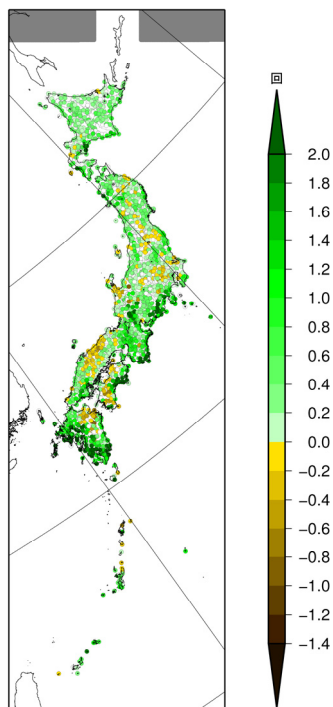
3.2.3 大雨の発生回数の変化の分布

地域気候モデルによる現在気候における大雨（日降水量 100 ミリ及び 200 ミリ以上）の年間発生回数と、将来気候における年間発生回数の差の分布を図 3.2-4 に示す。

将来気候では、日降水量 100 ミリ以上、200 ミリ以上の発生回数は、部分的に減少している地点も見られるものの、増加はほぼ全国的な広がりをもっている。現在気候において発生回数が少ない北日本では増加幅は小さいものの、増加する傾向としては他の地域と一致している。地形的に大雨の降りやすい東海から九州にかけての太平洋沿岸では増加幅が大きい。

(a)

日降水量 100 ミリ以上



(b)

日降水量 200 ミリ以上

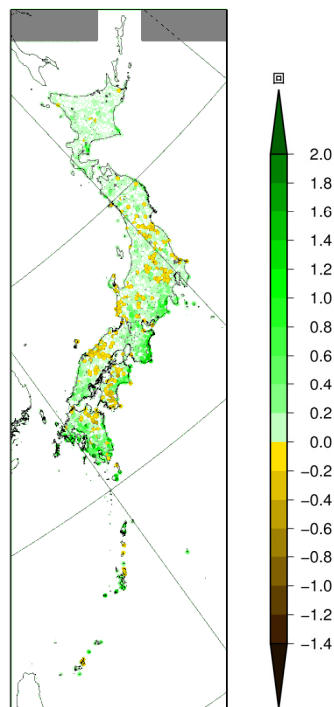


図 3.2-4 大雨の年間発生回数の変化（将来気候の現在気候との差）

日降水量 100 ミリ以上（左）、200 ミリ以上（右）について、年間発生回数の変化を示す。

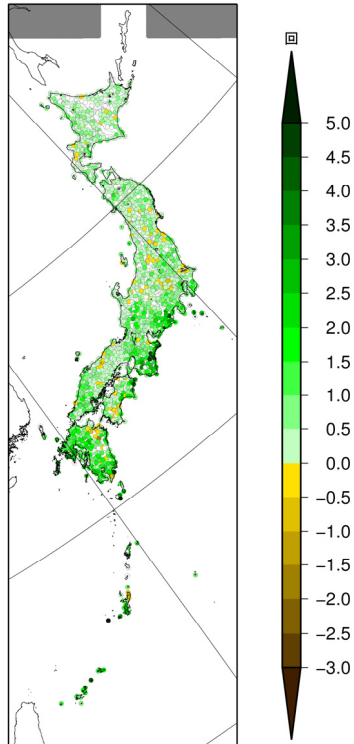
3.2.4 短時間強雨の発生回数の変化の分布

地域気候モデルによる現在気候における短時間強雨（1時間降水量30ミリ、50ミリ、80ミリ、及び100ミリ以上）の年間発生回数と、将来気候における年間発生回数の差の分布を図3.2-5に示す。

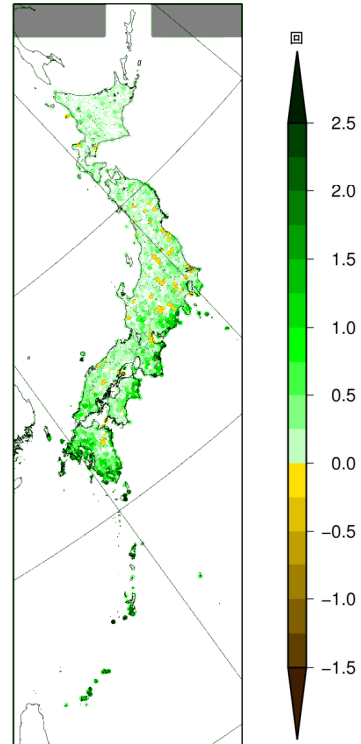
1時間降水量30ミリ以上の発生回数は、ほとんどの地域で増加しており、東日本から西日本の太平洋側で増加傾向が明瞭になっている。1時間降水量50ミリ以上についても、同様の傾向が見られるものの、30ミリ以上の場合に比べると、北日本では将来気候でも変化が不明瞭である。80ミリ以上の強雨については、将来気候の東日本、西日本、沖縄・奄美の一部で増加が見られるが、それ以外の地域では不明瞭である。100ミリ以上の強雨については、西日本や沖縄・奄美の一部で増加している地域があるが、全国的にはほとんど変化が見られない。

このような短時間強雨の増加傾向は、気温上昇に伴い大気中の水蒸気量が増加すると予測(A2.4)されることと整合的であるが、地球温暖化が進行した将来気候においても、北日本では1時間80ミリを超えるようなレベルの強雨の発生頻度は現在と同程度に稀であり、1時間100ミリを超えるようなレベルの強雨の発生頻度については、その他の地域でも現在と同程度に稀であることを示している。

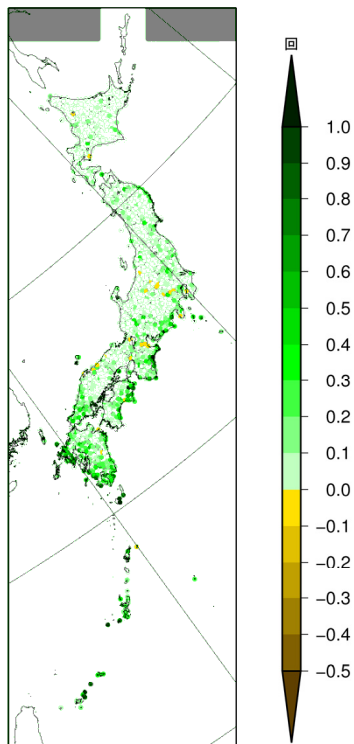
(a) 1時間降水量 30 ミリ以上



(b) 1時間降水量 50 ミリ以上



(c) 1時間降水量 80 ミリ以上



(d) 1時間降水量 100 ミリ以上

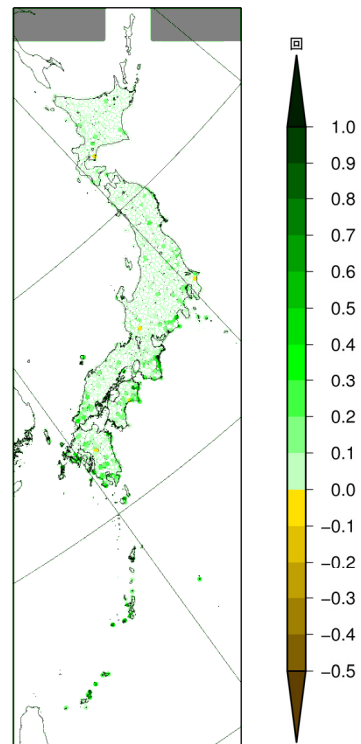


図 3.2-5 短時間強雨の年間発生回数の変化（将来気候の現在気候との差）

(a): 1時間降水量 30 ミリ以上、(b): 50 ミリ以上、(c): 80 ミリ以上、(d): 100 ミリ以上について、年間発生回数の変化を示す。

3.2.5 日降水量の20年再現値

地域気候モデルによる現在気候における日降水量の20年再現値（ある一年間において発生する確率が20分の1であるような、稀にしか観測されない極端な大雨による日降水量、1.3-4を参照されたい。）と比較した将来気候における20年再現値の変化率の分布を図3.2-6(右)に示す。大幅に増加している地点、減少となっている地点があり、地点ごとのばらつきが大きくなっている。これは、1.4で述べているように、降水の顕著現象は空間代表性が小さく、標本数が限られているためと考えられることから、特定の狭い地域に着目せず、広域的な特徴として捉える必要がある。北日本、沖縄・奄美、東日本太平洋沿岸等で増加域が広がっている特徴が見られる。地域ごとに、各地点の変化率を大きい順に並べ、中位の予測値の幅（25～75パーセンタイルの間）を見ると（図3.2-6(左)の赤いボックス）、数%～数10%程度の増加となっている。

日降水量の20年再現値の変化

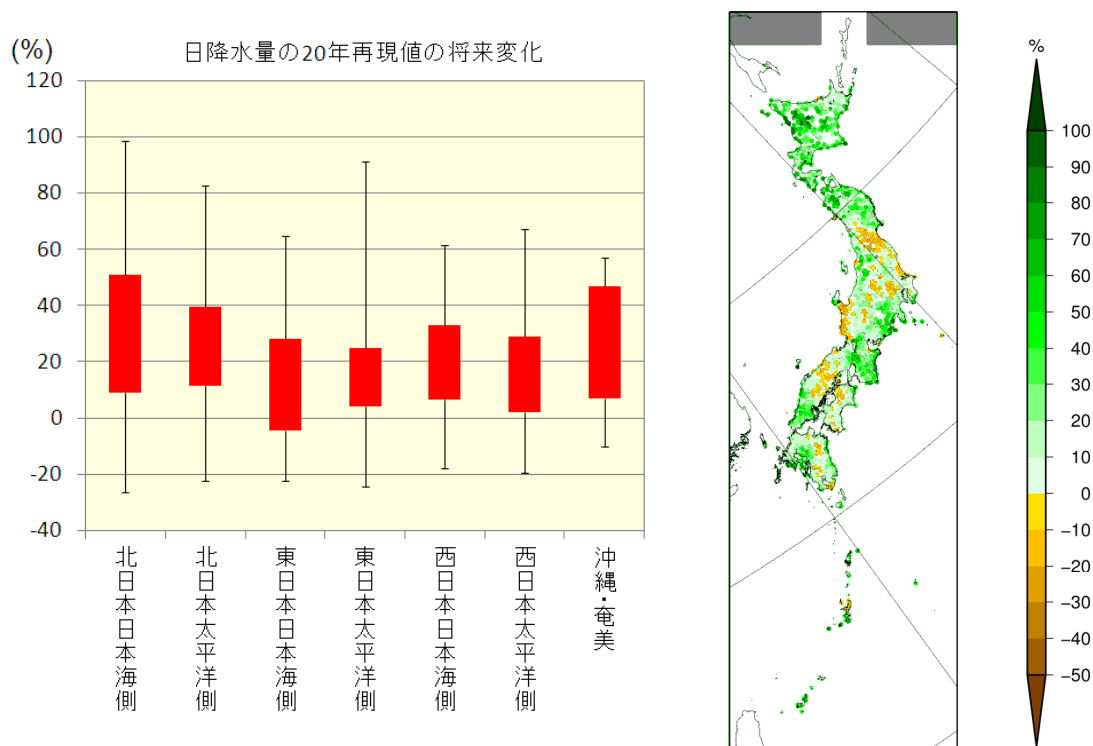


図 3.2-6 日降水量の20年再現値の変化

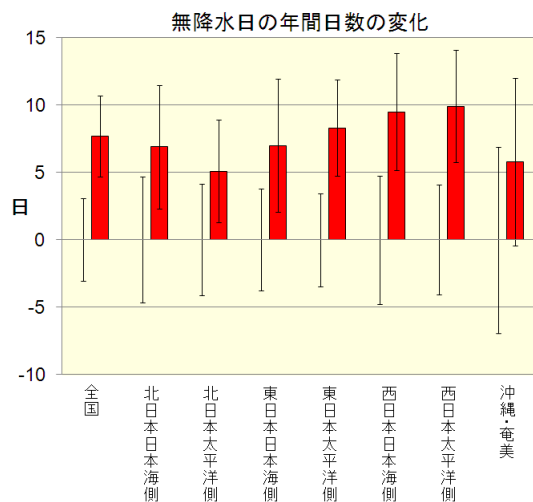
現在気候に対する変化率(%)で示す。(左)地域別に見た変化率のばらつきを示す。赤く塗り潰した箱は、各地域内における地点ごとの変化率を大きい順に並べて、その中位(25～75パーセンタイルの間)に入る変化率となる幅を、縦棒は最大値・最小値の幅を示す。(右)変化率の分布を示し、緑系の色は20年再現値が増加、茶系の色は減少することを表している。

3.3 無降水日数の変化

3.3.1 年・季節別の無降水日数

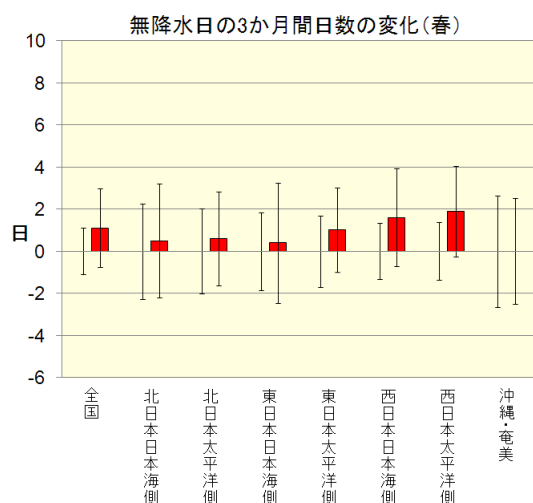
地域気候モデルによる現在気候における無降水日（ここでは、気候モデルにおける日降水量が1ミリ未満の日と定義する）の年・季節別日数と、将来気候における日数の差の地域平均を図3.3-1及び付表に、差の分布図を図3.3-2に示す。

(a)

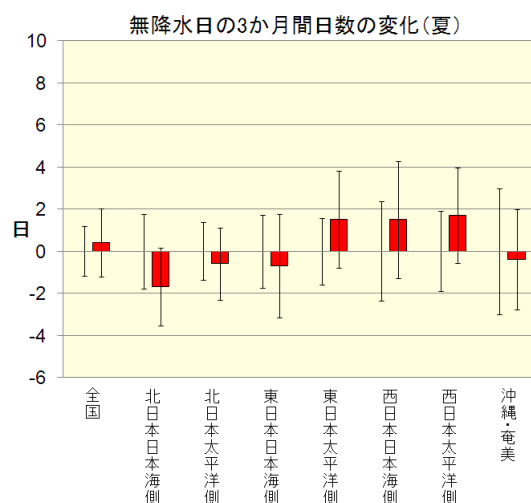


	年	春	夏	秋	冬
全国	7.7	1.1	0.4	3.6	2.6
北日本日本海側	6.9	0.5	-1.7	4.0	4.0
北日本太平洋側	5.1	0.6	-0.6	4.0	1.1
東日本日本海側	7.0	0.4	-0.7	3.3	4.0
東日本太平洋側	8.3	1.0	1.5	4.1	1.7
西日本日本海側	9.5	1.6	1.5	3.0	3.2
西日本太平洋側	9.9	1.9	1.7	3.3	3.2
沖縄・奄美	5.8	0.0	-0.4	1.4	4.8

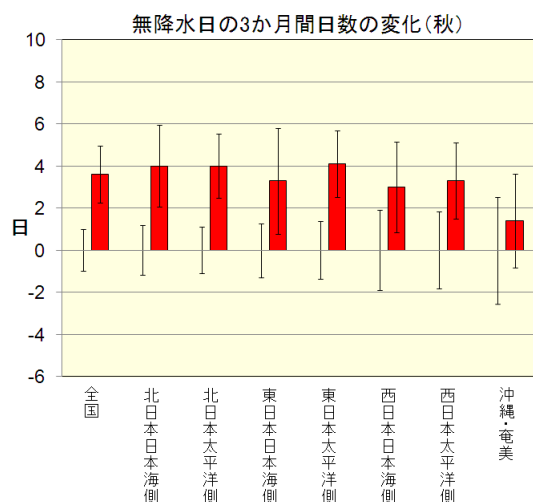
(b)



(c)



(d)



(e)

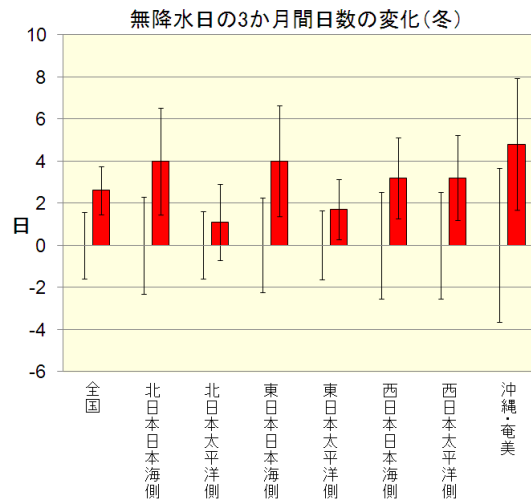


図 3.3-1 及び付表 地域別の無降水日数の変化 (将来気候の現在気候との差)

棒グラフが現在気候との差、縦棒は年々変動の標準偏差(左:現在気候、右:将来気候)を示す。(a): 年間、(b): 春(3～5月)、(c): 夏(6～8月)、(d): 秋(9～11月)、(e): 冬(12～2月)。右上の付表は増加(減少)の数値を示し、変化量が現在気候の年々変動の標準偏差以上の場合はオレンジ色(水色)に、信頼水準90%で統計的に有意でない場合には灰色に塗りつぶしている。

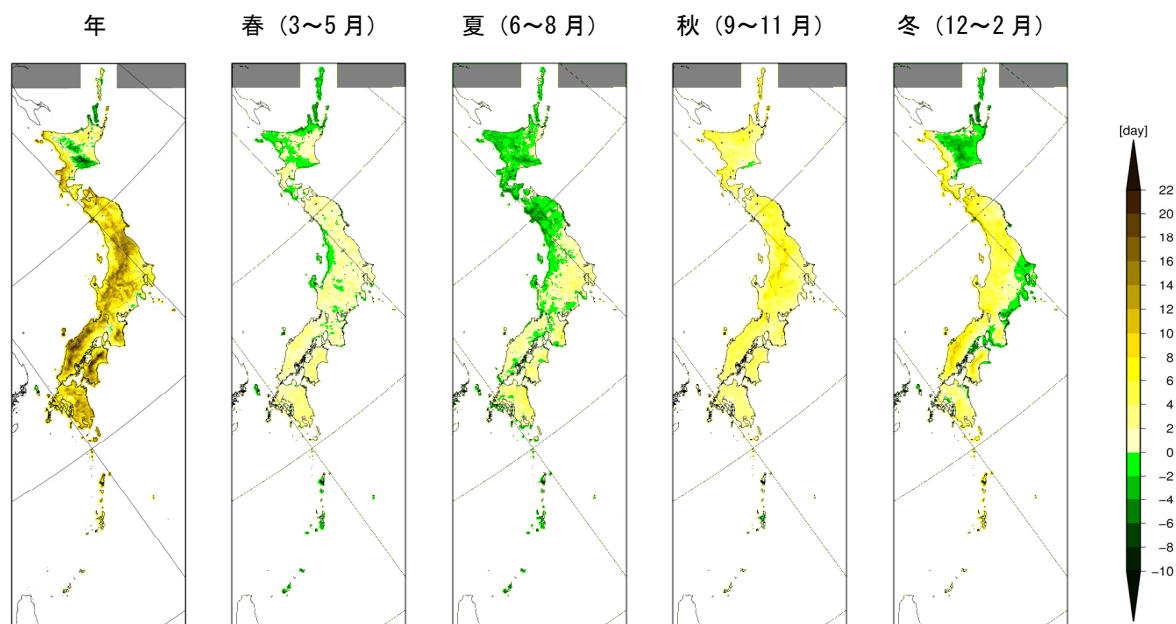


図 3.3-2 無降水日数の変化（将来気候の現在気候との差）

茶系の色は無降水日数が増加、緑系の色は減少することを示す。

年間無降水日数は、年々変動が大きい沖縄・奄美を除いて有意な増加となっている。季節別に見ると、冬は日本海側と太平洋側で変化の向きに明瞭なコントラストが見られる(図 3.3-2)。地域平均で見ても、日本海側では北日本から西日本にかけて有意に増加するのに対し、太平洋側では北日本で有意な変化が見られない。これは、冬型の気圧配置が弱まり日本海側では降水の発生頻度が減少するためと推測される。冬の日本海側で無降水日数が増加する地域でも、平均降水量が減少していない地域では(3.1.1)、一度に降る降水量が増加することを示唆している。春は地域的な特徴は見られず、夏はいずれの地域平均も有意ではないものの、北日本で減少域が広がっており、東日本から西日本では増加域が広がっている。秋は沖縄・奄美を除き全国的に有意に増加している。

一般的な議論として、気温の上昇に伴って、大気の水蒸気を保持する上限（飽和水蒸気量）は増加し一度の降水イベントでもたらされる降水量は増加するが、地表面からの蒸発散により水蒸気が補給される効率の変化は相対的に小さいため、次の降水イベントまでに水蒸気を補給するのにより長い時間が必要になり、このため無降水日数は増加する可能性が指摘されている(Giorgi et al. (2011), Trenberth (2011))。

3.3.2 連続無降水日数

長期にわたってまとまった降水がない天候（少雨）の継続期間が将来どのように変化するか評価するため、地域気候モデルによる現在気候 20 年間における連続無降水日数（気候モデルにおける日降水量が連続して 1 ミリ未満となる日数と定義する）の長い方から上位 20 位までの平均と、将来気候 20 年間における同じく上位 20 位までの平均の差を図 3.3-3 に示す。北日本を除くほとんどの地域で増加となっている。

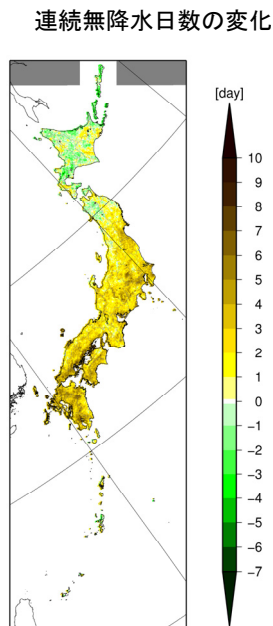


図 3.3-3 上位 20 位までの連続無降水日数の平均の差（将来気候の現在気候との差）
茶系の色は連続無降水日数の上位 20 位までの平均が長くなることを、緑系の色は短くなることを表している。