

ISSN 1346-7328

国総研資料 第 462 号

平成 20 年 5 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICALNOTE of

National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 462

May 2008

気候変動による豪雨時の降雨量変化予測

－GCM20 による評価を中心に－

Projection of Future Storm Rainfall Intensity affected by Global Climate Change

- Analysis of GCM20 model simulation results -

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

気候変動による豪雨時の降雨量変化予測 －GCM20 による評価を中心に－

報告書

柏井条介*
土屋修一**
石神孝之***

要旨

本報告は、治水分野での適応策検討に際し、最も基本的な情報である極端降雨量の変化について、定量的な評価を試みたものである。

検討は、気象庁・気象研究所が開発した気候変動モデルのシミュレーション結果を用いて実施したが、これらデータの提供は、平成 18 年 2 月から平成 20 年 3 月まで実施した気象研究所との「気候モデルを用いた地球温暖化に伴う降雨特性変化と洪水・渇水リスク評価に関する共同研究」の枠組の中で行われたものである。従って、本報告の内容は共同研究成果の一部として位置づけられる。

検討では、現象が本来もっているばらつきの影響が大きいことから、まず、将来予測におけるばらつきの影響の低減方法について検討を行った。その上で、21 世紀末の年最大降雨量変化を現在の降雨量の比として提示した。

キーワード：地球温暖化、気候モデル、適応策、治水

* 国土技術政策総合研究所 河川研究部 流域管理研究官

** 国土技術政策総合研究所 河川研究部 気候変動対策チーム 研究官

*** 北海道開発局 石狩川開発建設部 幾春別川ダム建設事業所長（前 国土技術政策総合研究所 気候変動対策チーム 主任研究員）

Projection of Future Storm Rainfall Intensity affected by Global Climate Change
- Analysis of GCM20 model simulation results -

Report

KASHIWAI Josuke*

TSUCHIYA Shuichi**

ISHIGAMI Takayuki***

Synopsis

This report examined quantitative projections for the change of extreme rainfall intensity due to climate change, which are fundamental information for the examinations of appropriate adaptations.

The examination used the simulation results of climate model developed by Japan Meteorological Agency and Meteorological Research Institute. These data provided under the research cooperation program with Meteorological Research Institute from Feb. 2006 to Mar. 2008, titled "Evaluation for the change of precipitation and flood/drought risk due to global warming through climate change model". This report is the part of the research cooperation results.

Since the climate phenomena have the nature of large scatter, methods for reducing scatter effects in the future projection was examined first. Then the future (end of 21st century) change of annual maximum rainfall intensity was discussed in the form of ratio to the present intensity.

Key words: global warming, climate model, adaptation, flood defense

* Research coordinator for watershed management, River department, NILIM

** Researcher, Adaptation to climate change team, River department, NILIM

*** Chief Officer of Ikushunbetu river dam Construction office, Ishikari River development and construction department, Hokkaido regional development bureau

(Former Senior researcher, Adaptation to climate change team, River department NILIM)

まえがき

地球温暖化問題への関心が高まっているが、治水への影響は特に懸念される事項の一つである。その影響度合いを早急に評価するとともに、適切な適応策を検討・実施する必要がある。

本報告は、治水分野での適応策検討に際し、最も基本的な情報である極端降雨量の変化について、定量的な評価を試みたものである。

検討は、気象庁・気象研究所が開発した気候変動モデルのシミュレーション結果を用いて実施したが、これらデータの提供は、平成 18 年 2 月から平成 20 年 3 月まで実施した気象研究所との「気候モデルを用いた地球温暖化に伴う降雨特性変化と洪水・渇水リスク評価に関する共同研究」の枠組の中で行われたものである。従って、本報告の内容は共同研究成果の一部を構成するものと位置づけられる。

その意味で気象研究所との連名の報告書とすることも考えられるが、検討内容は全て国土技術政策総合研究所で実施したものであり、内容に関する責任の一切は国土技術政策総合研究所にある。よって、国土技術政策総合研究所資料として整理するものとした。

気象研究所にはデータの提供及びその利用に関し様々な助力を戴いた。ここに記して謝意を表す。

1. 検討の概要	1
1.1. 気候変動と治水の係り	1
1.2. 降雨量変化の予測方法	1
1.3. 本報告書の構成	2
2. 第4次IPCCの採用モデルにおけるGCM20の位置付け	5
2.1. 第4次IPCCモデル群の降水量変化	5
2.2. GCM20とIPCCモデル群の比較	6
3. データ整理の方針	13
3.1. 対象とする降雨量	13
3.2. 求めるものと検討データによる制約	13
3.3. 基本的な将来予測方法	13
3.4. 気候モデルの f の推定	13
3.4.1. 解析データ数の確保	13
3.4.2. 20年データによる推定 f のばらつき	14
3.4.3. 地域的なデータの利用	15
1) 確率分布が同様な地域の分割	15
2) データの独立性	17
3.4.4. 地域的なデータの利用による推定 f のばらつき	19
4. GCM20の現況計算結果と観測値の比較	35
4.1. 比較データ	35
4.2. 平均的な降水量	35
4.2.1. 日降水量の平均と標準偏差	35
4.2.2. 月降水量の平均と標準偏差	35
4.2.3. 降水量の頻度分布	36
4.3. 年最大降雨量	36
5. 21世紀末(100年後)の年最大降雨量の変化	43
5.1. 検討ケース	43
5.2. GCM20(A1Bシナリオ)の年最大1~3日降雨量	43
5.2.1. 地域ごとの確率分布とばらつき	43
5.2.2. 平均化した現在と将来の確率分布	43
5.2.3. 現在と将来の確率分布の順位和検定	44
5.2.4. 将来と現在の平均値の比	45
1) 平均値の比のばらつき	45
2) 地点数の補正と地域別の将来と現在の平均値の比	46
5.3. GCM20(A1Bシナリオ)の年最大1時間降雨量	46
5.4. RCM20(A2シナリオ)の年最大1日降雨量	47
5.5. CRCM20(A1B、B1シナリオ)の年最大1日降雨量	47
6. まとめと今後の課題	63

6.1. 検討結果のまとめ	63
6.2. 今後の課題	65
参考文献	66
参考資料	

図－2.1	日本周辺として設定した領域例 (CGCM2.3.2)	7
図－2.2	IPCCモデルの日本周辺年降水量の時系列変化 (20 世紀：1990～1999 年の平均を基準)	7
図－2.3	IPCCモデルの日本周辺年降水量の時系列変化 (21 世紀：1990～1999 年の平均を基準)	7
図－2.4	IPCCモデルの日本周辺地上気温の時系列変化 (1980～1999 年の平均を基準)	8
図－2.5	IPCCモデルの全球平均年降水量の時系列変化 (20 世紀：1990～1999 年の平均を基準)	8
図－2.6	IPCCモデルの全球平均年降水量の時系列変化 (21 世紀：1990～1999 年の平均を基準)	8
図－2.7	気候モデルのアンサンブル平均 (20 世紀：1990～1999 年の平均を基準)	9
図－2.8	気候モデルのアンサンブル平均 (21 世紀：1990～1999 年の平均を基準)	9
図－2.9	GCM20 と IPCCモデル群の日本周辺年降水量の時系列変化 (現在)	9
図－2.10	GCM20 と IPCCモデル群の日本周辺年降水量の時系列変化 (将来)	10
図－2.11	GCM20 と IPCCモデル群の全球平均年降水量の時系列変化(現在)	10
図－2.12	GCM20 と IPCCモデル群の全球平均年降水量の時系列変化(将来)	10
図－3.1	将来の予測方法の概要	21
図－3.2	現在と将来の推定 F の比較説明図	21
図－3.3	現在、将来が同じ f の場合の順位別の将来/現在のばらつき (ガンベル分布、 $\sigma/\mu=0.4$ 、モンテカルロ試行回数=5000)	22
図－3.4	順位 1、10 の 95 及び 5 パーセンタイル値と Σ/M 、将来/現在の関係 (同じ f (ガンベル分布)、モンテカルロ試行回数=5000)	22
図－3.5	順位別の将来/現在のばらつき (全国データ)	23
図－3.6	地域別比流量図の地域分割	23
図－3.7(1)	地域別の計算格子点 (GCM20) と地上アメダス観測点	24
図－3.7(2)	地域別の計算格子点 (GCM20) と地上アメダス観測点	25
図－3.7(3)	地域別の計算格子点 (GCM20) と地上アメダス観測点	26
図－3.8(1)	地域内の棄却点と棄却されなかった点の分布 (適合割合の小さいケース：有意水準 1%)	27
図－3.8(2)	地域内の棄却点と棄却されなかった点の分布 (適合割合の小さいケース：有意水準 1%)	28
図－3.8(3)	地域内の棄却点と棄却されなかった点の分布 (適合割合の小さいケース：有意水準 1%)	29
図－3.9	北海道、東北、中部の再分割区域と GCM20 の計算格子点の関係	30
図－3.10	f と地域内のデータより推定される f_e の関係 (各点のデータは f に従うと仮定、 f : ガンベル分布、 $\Sigma/M=0.39$)	31
図－3.11	順位 1 及び 10 の将来/現在の 50 パーセンタイル値の 95%信頼区間と地域内点数の関係 (現在、将来が同じ $\Sigma/M=0.4$ のガンベル分布、モンテカルロ試行回数=5000)	31
図－3.12	順位別の将来/現在の地域内のばらつき例(GCM20)	32
図－3.13	地域内格子点数と 95%信頼区間の関係 (20 年の年最大降雨量で現在、将来が $\Sigma/M=0.4$ の	

同じガンベル分布、モンテカルロ試行回数=5000)	32
図－4.1 日降水量の平均と標準偏差の地上GCM20/アメダス	38
図－4.2 月降水量の平均と標準偏差のGCM20/地上アメダス	38
図－4.3 月降水量平均値がGCM20/地上アメダス >1 (<1) の地域数	39
図－4.4 月降水量標準偏差(全データ)がGCM20/地上アメダス >1 (<1) の地域数	39
図－4.5 月降水量標準偏差のGCM20/地上アメダスにおける(全データ)と(地点)の比	39
図－4.6 日降水量の発生割合例(関東)	40
図－4.7 日降水量とGCM20の日降水量発生割合がアメダスより大きい(小さい)地域数の関係	40
図－4.8 年最大1日降雨量平均値のGCM20/地上アメダス	40
図－4.9 年最大1日降雨量標準偏差のGCM20/地上アメダス	41
図－4.10 年最大1時間降雨量平均値及び標準偏差のGCM20/地上アメダス	41
図－5.1 地域内全データを用いた確率分布例(地域内平均値で無次元化。図－3.12に対応(GCM20))	48
図－5.2 現在、将来の地域内確率分布の全国平均(年最大1～3日降雨量(GCM20)、地域別比流量図の地域分割)	49
図－5.3 現在、将来の地域内確率分布の全国平均(年最大1～3日降雨量(GCM20)、細分化した地域分割)	50
図－5.4 現在、将来の平均分布とガンベル分布の比較(年最大1～3日降雨量(GCM20))	51
図－5.5 全国データから作成した確率分布の現在と将来の比較(GCM20、年最大1日降雨量)	52
図－5.6 地点の確率分布の全国平均による現在と将来の比較(GCM20、年最大1日降雨量)	52
図－5.7 北海道4、東北2の現在、将来の確率分布(年最大1日降雨量、GCM20)	53
図－5.8 Kの信頼区間と地点数の関係(GCM20、年最大1日降雨量の全国平均(地域別比流量図分割)の将来、現在の確率分布の平均で計算)	53
図－5.9 将来と現在の年最大降雨量の平均値の比(GCM20、年最大1日降雨量)	54
図－5.10 将来と現在の年最大降雨量の平均値の比(GCM20、年最大2日降雨量)	54
図－5.11 将来と現在の年最大降雨量の平均値の比(GCM20、年最大3日降雨量)	54
図－5.12 現在、将来の地域内確率分布の全国平均(年最大1時間降雨量(GCM20))	55
図－5.13 将来と現在の年最大降雨量の平均値の比(GCM20、年最大1時間降雨量)	55
図－5.14 現在、将来の地域内確率分布の全国平均(年最大1日間降雨量(RCM20))	56
図－5.15 将来と現在の年最大降雨量の平均値の比(RCM20、年最大1日降雨量)	56
図－5.16 将来と現在の年最大降雨量の平均値の比(CRCM20、年最大1日降雨量、平均のみ)	57
図－6.1 現在と将来の年最大降雨量の平均値の比(全モデル)	67
表－1.1 GCM20及びRCM20の概要	3
表－2.1 IPCC第4次報告で採用された気候モデル一覧	11
表－3.1 地域内の計算格子点数及び地上アメダス観測点数	33
表－3.2 「年最大1日降雨量の確率分布が同じ」の仮説が棄却されない(適合する)地域内点数の割合	33
表－3.3 地域の再分割	33
表－3.4 再分割領域の適合割合	34

表－3.5	年最大1日降雨量発生日の数と割合（％）	34
表－3.6	2点の年最大1日降雨量の母相関係数＝0が棄却されない割合（％）	34
表－5.1	21世紀末（100年後）の年最大降雨量変化検討ケース	58
表－5.2	現在、将来の確率分布の順位和検定（GCM20、年最大1～3日降雨量）	58
表－5.3	将来と現在の年最大降雨量の平均値の比（GCM20、年最大1日降雨量）	58
表－5.4	将来と現在の年最大降雨量の平均値の比（GCM20、年最大2日降雨量）	59
表－5.5	将来と現在の年最大降雨量の平均値の比（GCM20、年最大3日降雨量）	59
表－5.6	現在、将来の確率分布の順位和検定（GCM20、年最大1時間降雨量）	60
表－5.7	将来と現在の年最大降雨量の平均値の比（GCM20、年最大1時間降雨量）	60
表－5.8	現在、将来の確率分布の順位和検定（RCM20、年最大1日降雨量）	61
表－5.9	将来と現在の年最大降雨量の平均値の比（RCM20、年最大1日降雨量）	61
表－5.10	現在、将来の確率分布の順位和検定（CRCM20、年最大1日降雨量）	62
表－5.11	将来と現在の年最大降雨量の平均値の比（CRCM20、年最大1日降雨量、平均のみ） ..	62
表－6.1	現在と将来の年最大降雨量の平均値の比（全モデル）	68

1. 検討の概要

1. 検討の概要

1.1. 気候変動と治水の係り

平成 19 年に第 4 次 IPCC（気候変動に関する政府間パネル）が報告された。この報告の最も大きな特徴は、人間活動が近年の温暖化傾向の原因であることをほぼ断定したことにある。この結論は、人間活動による温室効果ガスの排出がある場合、ない場合の気候変動シミュレーション結果を比較し、ある場合の地球規模の気温変化が、実測されている気温変化をよく表していることから得られたものであり、第 4 次報告以降、温室効果ガス排出量削減に対する世の中の関心は一段と高まっている。

一方、それほど注目されていないが、第 4 次 IPCC 報告の他の重要な特徴として、温暖化の適応策が初めて具体的に取り上げられたことが挙げられる。温室効果ガスの排出が削減されたとしても、既に地球は温暖化しており、その影響は生じている。今後の長い期間に亘り、その影響は大きくなり続けるであろう。したがって、影響軽減のため適応策を検討・実施する必要があるという訳である。

治水分野では、温室効果ガスの排出に関係する事項は余りなく、あったとしてもその影響は僅かである。一方、治水に係る自然現象の発端は降雨にあり、降雨は気候変動の直接的な影響を受ける。治水分野で適応策の検討が必要になる所以である。

治水分野における適応策の検討は、河川研究部気候変動チームの重要な研究テーマの一つであり、時間軸(或いは気候変動軸)に対する適切なオプションを提示することが最終的な研究目的である。当然のことながら、オプションの適用性は、将来の降雨量変化の影響を受ける。従って研究では、気候変動による将来の降雨量変化を知ることが、最初の重要な検討課題となる。

以上を踏まえ、本報告では引き続き実施する適応策の検討を念頭に、気候変動による将来の降雨量変化を検討した。本報告は、今後とりまとめる適応策に関する一連の研究成果の一部としてとりまとめたものである。なお、検討対象は日本であり、以下では、日本を対象に記述を進める。

1.2. 降雨量変化の予測方法

地球温暖化が現在既に進行しているとすれば、過去の資料からその変化を抽出して将来の予測に用いる方法がまず考えられる。過去の降水量資料の統計処理から、現在の極値降水量が有意に増加していることを確認した研究事例¹⁾ もあり有用な方法と思うが、将来の気候変動に対する変化を予測するためには、得られた降水量変化と気候変化との因果関係を明らかにする必要がある。定量的な関係を得るにはかなりの困難を伴う可能性がある。

一方、IPCC における気候変動の将来予測は全地球の気候変動シミュレーションによりなされている。CO₂排出に関するいくつかのシナリオについて降水量を含む計算結果が示されており、本報告では、IPCC で用いられた気候変動シミュレーション結果を基本に考える。

気候変動シミュレーションであるが、再現精度の検証システムが整備されておらず、モデルによる算定結果の違いについて、その優劣を十分には議論できない現状にある。IPCC の報告で、気温の予測について複数のシミュレーション結果が並列して扱われているのはそのためである。各モデル間の算定結果の絶対値の差は大きく、100 年後の気温変化量と同じオーダーの気温差が、現況気温におけるモデル間の計算結果に認められる。

気候変動シミュレーションの推定精度の問題は、降水量において更に大きい。水害や渇水問題で対象となる極値現象に対しては非常に大きな問題を有しているといつてよい。例えば、わが国の治水計画の元となる豪雨の水平スケールは 100Km 以下であるが、IPCC で用いられている全球モデルの計算格子は 110～400Km 程度であり、かなり大きい。こうした大きな格子でわが国の豪雨を再現する

ことは不可能である。

格子間隔の問題に関し、気象研究所では、約 20Km メッシュのモデルの開発が進められており、日本周辺を取り出した地域モデル（以下、RCM20）及び全球モデル（GCM20）の算定結果が示されている。これら高解像モデルの概要を表-1.1 に示す。

これら高解像モデルでも計算能力上の問題が解決されている訳ではなく、基礎方程式やパラメータの設定といった、現象再現におけるモデルの持つ根元的な問題とは別に、以下のような課題を有している。

- 1) 何れも約 280Km メッシュで計算された気象研究所の全球大気・海洋結合モデル（CGCM）を境界条件として用いており、RCM20 では計算領域外側及び海面の境界に、GCM20 では海面の境界に用いている（つまり、RCM20、GCM20 ともに大気の計算モデルであり、海洋との相互作用を解くものではない）。
- 2) 初期条件が 1 条件であり、アンサンブルによる検討がなされていない。
- 3) 計算されている温室効果ガスの排出シナリオは、RCM20 では A2、GCM20 では A1B とそれぞれ 1 シナリオである。
- 4) GCM20 では現況及び 100 年後についてそれぞれ 20 年間の計算がなされているのみであり、この間の経過については算定されていない。RCM20 はこれに 50 年後の結果が加わるが、やはり 20 年間の計算であり、連続した計算はなされていない。

以上のような問題はあるが、IPCC で用いられているモデルと比較して、地形の影響がある程度再現され、降水の季節的な変動や地域的な変動がある程度再現されるようになっている。そこで、本検討では、これら約 20Km メッシュの計算結果を用い、現在と将来の計算結果より降水量変化を推定するものとした。検討は、IPCC4 次報告で現実的な推奨シナリオとされる A1B シナリオを用いている GCM20 を中心に行い、RCM20 については、一部指標について補足的に比較するものとした。

なお、地上アメダスデータと比較した従来の研究によれば、RCM20 では年間降水量が全体に大きく、5 割程度以上大きくなる地域も見られている²⁾。後に GCM20 での検討結果を示すが、全体には GCM20 の方が現況の再現性が高いようである。ただし、レーダーアメダスデータと比較した Sasaki ら³⁾ の検討結果では、GCM20 は全体に小さめの降水量を与え、RCM20 の年降水量が、より観測値と一致するとしている。今後、観測データの取り扱いも含め検証精度を上げていく必要がある。

1.3. 本報告書の構成

以降の各章にて検討結果を取りまとめる。各章の内容は以下の通りである。

- 2 章：IPCC 第 4 次報告で使用されているモデルの算定結果と GCM20 の結果を比較し、GCM20 の計算結果の位置付けを明らかにする。
- 3 章：GCM20 ではアンサンブル計算がなされていないこと、また、現在、将来について各々 20 年間の計算結果を用いなければならないことから、解析対象データが大きくなばつきをもつ母集団の一部でしかないことが予想される。このことを踏まえ、対象データが持っているばらつきの特性についてモンテカルロ法による検討を行う。また、データ処理の方向性を検討する。
- 4 章：3 章の検討結果を踏まえて、GCM20 の現況の降雨量についてアメダスデータと比較し、再現性を検討する。
- 5 章：4 章の検討結果を踏まえて、GCM20 の結果に基づく将来の豪雨時の降雨量、具体的には年最大の 1 日、2 日、3 日降雨量変化を評価する。また、その他参考となる条件での解析を行う。

6 章：以上の 2～4 章の結果を取りまとめるとともに、今後の課題について整理する。

なお、本検討は GCM20、RCM20 の計算結果が入手できていることを前提に実施したものであるが、気象庁・気象研究所では、その後平成 19 年度に CRCM20 の計算を出力している。CRCM20 は RCM20 の抽出領域を大気・海洋結合モデルとするなどの改良が加えられたモデルであり、A1B 及び B1 の温室効果ガス排出シナリオに対する計算がなされている。本モデルの計算結果についても一部解析しており、5 章に紹介した。

表－1.1 GCM20 及び RCM20 の概要

	モデル	
	GCM20(General Circulation Model)	RCM20(Regional Climate Model)
計算領域	全球	日本周辺
水平解像度	計算格子間隔:約 20Km	計算格子間隔:約 20Km
	格子数: 1920x960	格子数: 129x129
計算鉛直層数	60層	36 層
側方の境界条件	—	アジア域の気候モデル (格子間隔: 約 60Km, 36 層)
温室効果ガス排出シナリオ	A1B	A2
計算期間	現在: 1979－1998 将来: 2080－2099	現在: 1981－2000 将来: 2031－2050 及び 2081－2100

2. 第4次 IPCC の採用モデルにおける GCM20 の位置付け

2. 第4次IPCCの採用モデルにおけるGCM20の位置付け

2.1. 第4次IPCCモデル群の降水量変化

以下の検討に先立ち、ここでは主たる検討対象とした GCM20 の結果について、第4次 IPCC で採用されているモデルの結果と比較し、その位置づけを確認する。

表-2.1 に第4次 IPCC で採用された気候モデルの一覧を示す。採用されたモデルは全部で 24 モデルあるが、検討は、このうちデータ入手が可能であったモデルを対象に実施しており、用いたモデルを表-2.1 の○に示す。現在気候については 19 モデル、将来(A1B シナリオ)気候については 17 モデルの結果を用いている。

先にも述べたように、IPCC で採用されている気候モデルの計算格子間隔は大きく、日本国土上では数点程度しかない。そこで、検討は日本周辺の海域のデータも含めて実施するものとした。設定した日本周辺領域例を図-2.1 に示す。図-2.1 は、気象研究所の CGCM2.3.2 の例であり、GCM20 の大気と海面の境界条件を与えている CGCM モデルシリーズの一つである。

図-2.2、2.3 に、それぞれ各モデルの 20 世紀（1900～1999 年）及び 21 世紀（2000～2099 年）の日本周辺年平均降水量の時系列変化を示す。図は、1990～1999 年の 10 年間の平均値を基準とした比率で示しており、データ数が少ないことによるばらつきを軽減するため、10 年間の移動平均により平滑化している。

図中の青線は各世紀内で増加傾向が見えるもの、赤線は減少傾向が見えるものを示しており、実線は Mann-Kendall のトレンド検定により有意水準 5% で有意な傾向となったものを、破線は有意な傾向とならなかったものをそれぞれ表している。モデルによる比率のばらつきは大きい、これによると、20 世紀において日本周辺の年降水量が増加傾向を示すモデルは 8 モデル、減少傾向を示すのは 11 モデルであり同程度のモデル数となっている。一方、21 世紀については、1 モデルを除き、全て増加傾向となっており、11 モデルは有意水準 5% で有意な傾向となっている。

図-2.4 は日本周辺年平均の気温変化を示したものである。ただし、1980～1999 年の平均値を基準としている。図より、日本周辺の気温は 2000 年前後から上昇が顕著になっており、年降水量変化と符合していることが分かる。図には、RCM20 で用いられている A2 シナリオの結果も併せて示しているが、2080 年程度までは両者の差はほとんどなく、21 世紀末に差が見られるのみである。また、その差も平均値で 1℃程度以下と小さい。こうした傾向は、IPCC 第4次報告に示されている全球的な傾向と同様である。日本周辺での気温上昇が若干大きいように思えるが、IPCC 第4次報告とは対象モデル数が異なるので一概には言えない。

図-2.5、2.6 は同様の傾向を全球平均の年降水量について整理したものである。全球平均としたことから平均するデータ数が大きく、移動平均操作はしていない。21 世紀については、全モデルで有意な増加傾向がみられており、日本周辺と同様の傾向となっている。一方、20 世紀については、増加傾向を示すものが 14 モデル、減少傾向を示すものが 5 モデルと増加傾向を日本周辺と比較して増加傾向を示すものが多くなっている。

以上の図で分かるように、モデルによるばらつきは比較的大きい。図-2.7、2.8 はモデル全体としての傾向を明確にするため、各気候モデルをアンサンブルメンバーとして、10 年ごとに全球平均及び日本周辺平均年降水量をアンサンブル平均したもので、それぞれ 20 世紀、21 世紀に対応し、赤が日本周辺平均、黒が全球平均を表している。

全球平均では、20 世紀の降水量変化はほとんど見られておらず、21 世紀に約 4% 増加する結果となっている。一方、日本周辺平均の 20 世紀では 2% 程度の降水量の減少がみられ、21 世紀には 6%

程度の増加がみられている。このように、日本周辺平均の降水量は、全球平均よりやや変化が大きい傾向を示すが、その差は高々2%程度である。

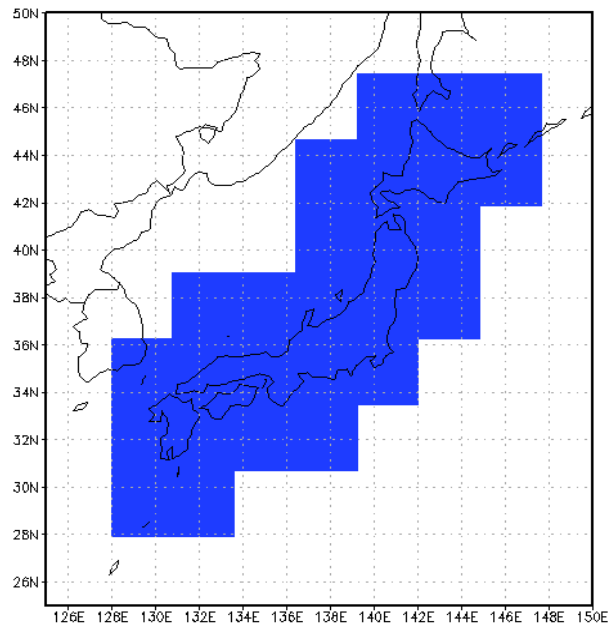
2.2. GCM20 とIPCCモデル群の比較

ここでは、GCM20 と、前節で示した IPCC モデル群の結果を比較する。ただし、GCM20 は現在として 1979～1998 年の、将来として 2080～2099 年の各 20 年間の計算が行われているのみであり、比較もこの期間での比較となる。

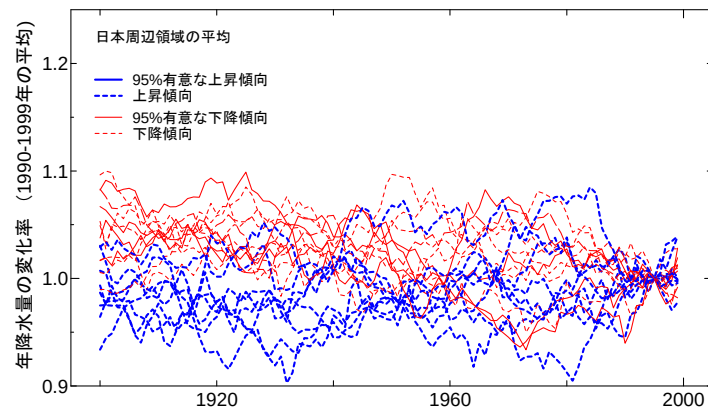
図-2.9、2.10 に日本周辺平均年降水量の現在、将来の時系列変化の比較を示す。GCM20 以外の線種による違いは図-2.2 と同様であり、比率の基準は 1990～1999 年の平均値としている。GCM20 を含む全モデルとも現在、将来ともに有意な増加、減少傾向は示しておらず、GCM20 の時系列変化が IPCC モデル群のばらつきの中で変化していることが分かる。GCM20 の変化は、モデル群の端部ではなく、どちらかといえば中位的な値を与えている。

図-2.11、2.12 には全球平均年降水量の現在、将来の時系列を変化の比較を示す。IPCC モデル群の増加傾向は、日本周辺より顕著であり、現在では 19 モデル中 14 モデルにおいて増加傾向を示し、そのうち 7 モデルでは有意な増加となっている。また、将来では、ほぼ全ての 18 モデルで増加傾向を示し、13 モデルで有意な増加となっている。全球の傾向に比較して日本周辺での降水量変化はやや小さいようである。一方、GCM20 の現在は有意な増加、将来は有意ではないが増加傾向となっており、IPCC モデル群と同様の傾向となっている。将来値については、全体として大き目の比率を推移しているが、IPCC モデル群のばらつきの中にあることが確認される。なお、現在と将来の気温差は 2.3℃程度であり、IPCC モデル群の日本周辺での気温差の中位の値にやや小さいが、モデル群と同程度の値となっている。

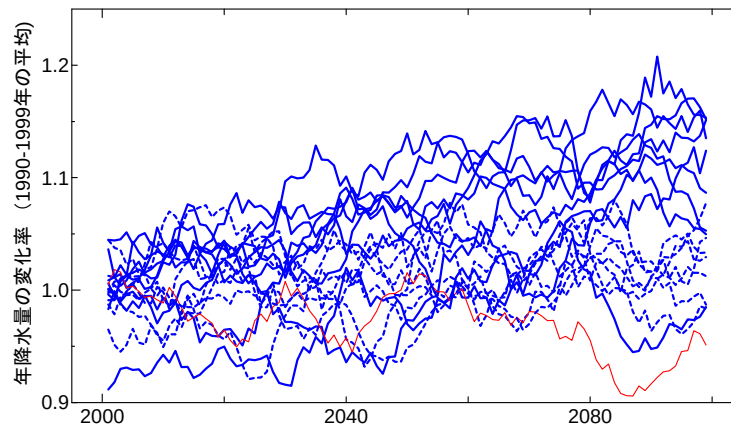
以上のように、GCM20 の結果は、IPCC モデル群のばらつきの中にあり、日本周辺においてはモデル群の中位的な傾向を示している。なお、以上の検討は、基準値にたいする比率を用いて行っており、絶対値そのものでないので注意が必要である。モデル相互の絶対値の違いは大きいものがあり、後に示すように、本報告では将来の降雨の評価を現在との比率をみることにより実施している。



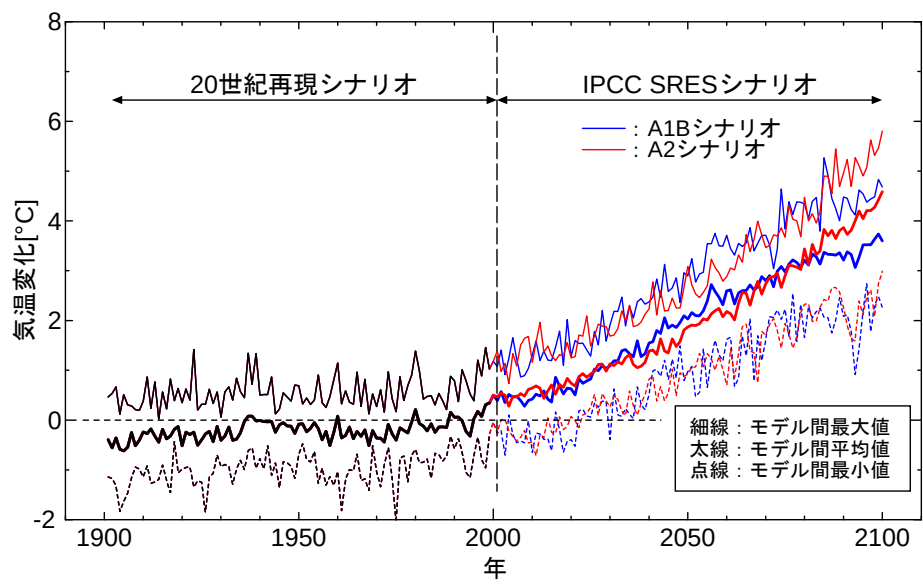
図ー2.1 日本周辺として設定した領域例 (CGCM2.3.2)



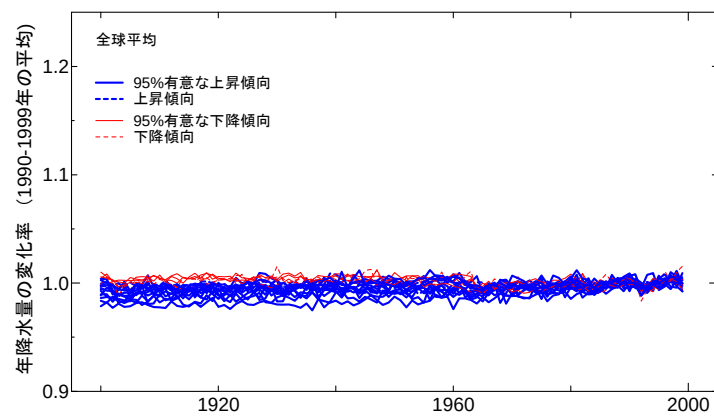
図ー2.2 IPCC モデルの日本周辺年降水量の時系列変化 (20 世紀：1990～1999 年の平均を基準)



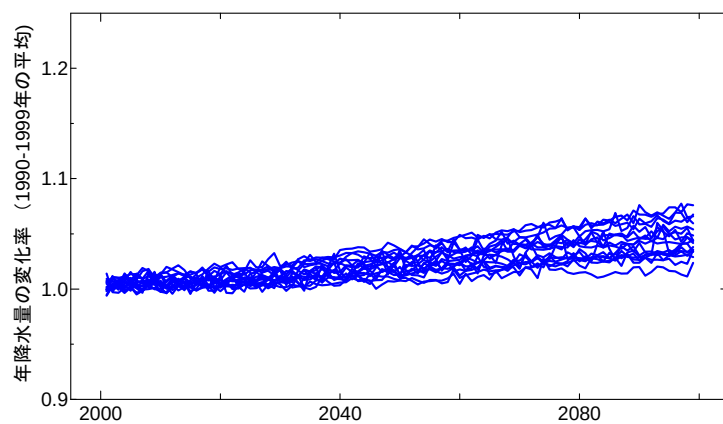
図ー2.3 IPCC モデルの日本周辺年降水量の時系列変化 (21 世紀：1990～1999 年の平均を基準)



図ー2.4 IPCC モデルの日本周辺地上気温の時系列変化（1980～1999 年の平均を基準）



図ー2.5 IPCC モデルの全球平均年降水量の時系列変化（20 世紀：1990～1999 年の平均を基準）



図ー2.6 IPCC モデルの全球平均年降水量の時系列変化（21 世紀：1990～1999 年の平均を基準）

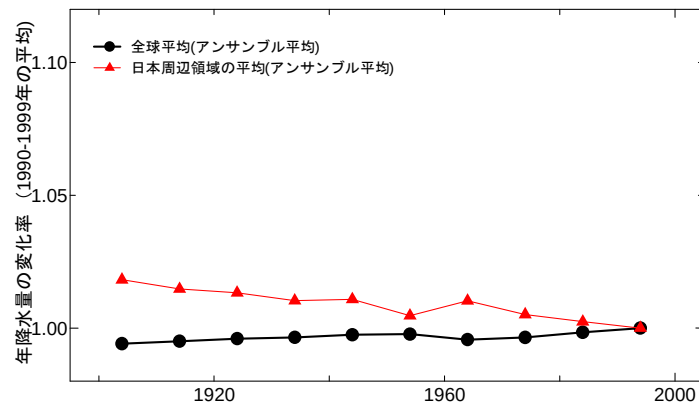


図-2.7 気候モデルのアンサンブル平均（20 世紀：1990～1999 年の平均を基準）

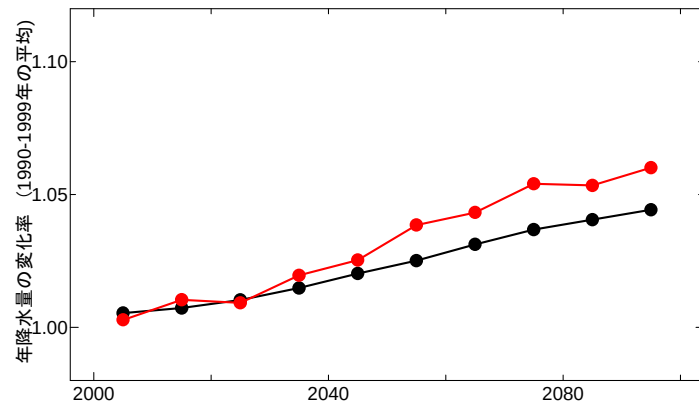


図-2.8 気候モデルのアンサンブル平均（21 世紀：1990～1999 年の平均を基準）

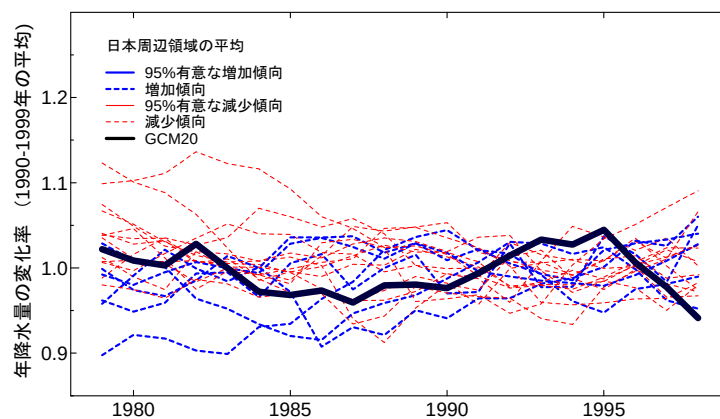
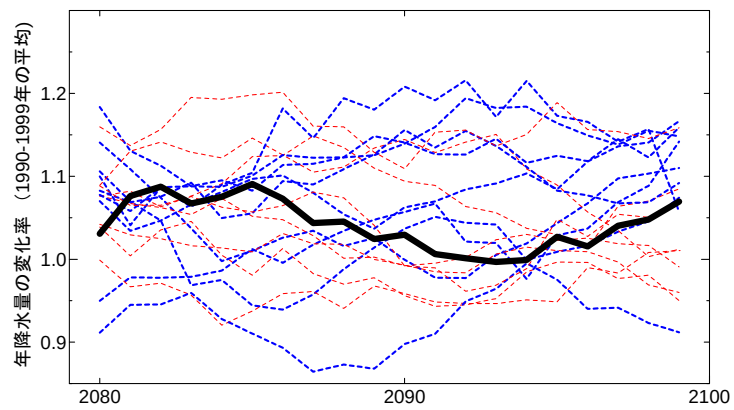
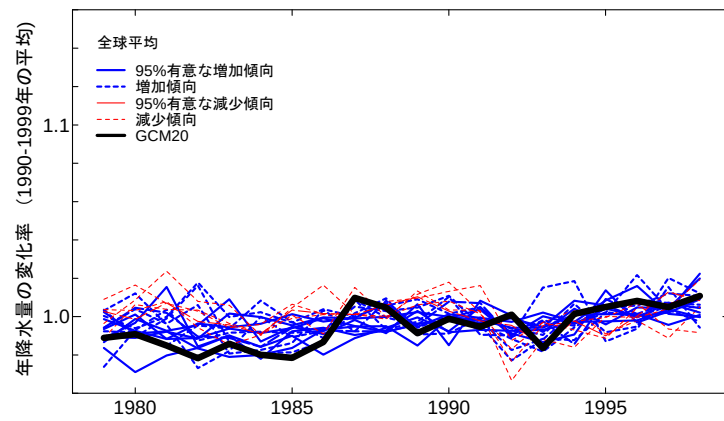


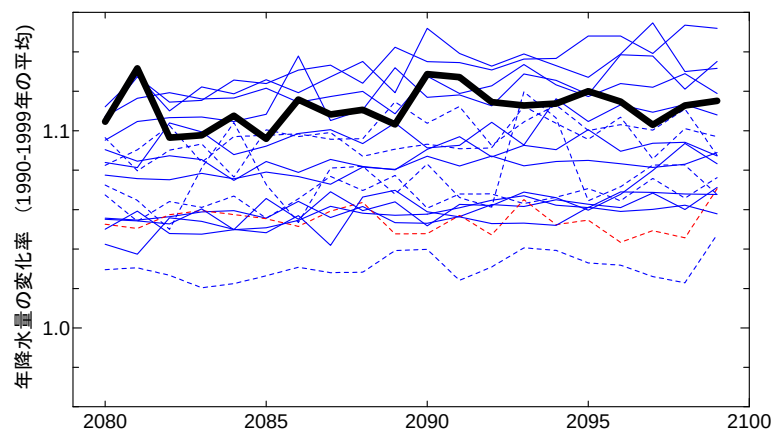
図-2.9 GCM20 と IPCC モデル群の日本周辺年降水量の時系列変化（現在）



図ー2.10 GCM20 と IPCC モデル群の日本周辺年降水量の時系列変化 (将来)



図ー2.11 GCM20 と IPCC モデル群の全球平均年降水量の時系列変化(現在)



図ー2.12 GCM20 と IPCC モデル群の全球平均年降水量の時系列変化(将来)

表-2.1 IPCC 第4次報告で採用された気候モデル一覧

センター名	国	モデル名	解像度	使用モデル	
				現在気候	将来気候(A1B)
Beijing Climate Center	China	CM1	2.5°		
Bjerknes Centre for Climate Research	Norway	BCM2.0	2.8°		
Canadian Center for Climate Modelling and Analysis	Canada	CGCM3T47	3.75°	○	○
		CGCM3T63	2.8°		
Centre National de Recherches Meteorologiques	France	CM3	2.8°	○	○
Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Org	Australia	Mk3.0	1.875°	○	
Max-Planck-Institut for Meteorology	Germany	ECHAM5-OM	1.875°	○	○
Meteorological Institute, University of Bonn Meteorological Research Institute of KMA Model and Data Groupe at MPI-M	Germany	ECHO-G	3.75°	○	○
	Korea				
	Germany				
Institute of Atmospheric Physics	China	FOALS-g1.0			
Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	USA	CM2.0	2.5°	○	○
		CM2.1	2.5°	○	○
Goddard Institute for Space Studies	USA	AOM	4°	○	○
		E-H	5°	○	○
		E-R	5°	○	
Institute for Numerical Mathematics	Russia	CM3.0	5°	○	○
Institut Pierre Simon Laplace	France	CM4	3.75°	○	○
National Institute for Environmental Studies	Japan	MIROC3.2-H	1.125°	○	○
		MIROC3.2-M	2.8°	○	○
Meteorological Research Institute	Japan	CGCM2.3.2	2.8°	○	○
National Centre for Atmospheric Research	USA	PCM	1.4°	○	○
		CCSM3	2.8°	○	○
UK Met. Office	UK	HadCM3	3.75°	○	○
		HadGEM1	1.875°	○	○
National Institute of Geophysics and Volcanology	Italy	SXG 2005			

1° = 赤道付近約110km, 日本付近約90km

3. データ整理の方針

3. データ整理の方針

3.1. 対象とする降雨量

治水計画で対象となる降雨量は、再現期間の長い降雨の降雨量であり、通常は観測された年最大降雨量を適当な確率分布で近似して推定される。本報告は、気候モデルの計算結果より将来の降雨量変化を検討するものであり、現在と将来の年最大降雨量を比較することを念頭に考える。用いられる最大降雨量の時間スケールはいくつかあるが、本章では主として年最大 1 日降雨量を用いて検討する。以降の章で示す具体的検討では、この他 2、3 日降雨量及び 1 時間降雨量についても検討を行っているが、その結果から判断して、これら時間スケールの範囲では、本章の検討内容に時間スケールの影響は余りないと考えてよい。

3.2. 求めるものと検討データによる制約

本検討は、気候変動に伴う将来の年最大降雨量の変化を求めることにある。年最大降雨量の変化は確率分布 F の変化として与えられ、理想的には、

$$F = F(r_m(t_i)) \quad (3.1)$$

を求める問題として設定される。ここに、 r_m : 年最大降雨量、 t_i : 時間(年)である。

上記は理想であって、以下の条件が満足される場合に、温室効果ガスの排出シナリオ毎に求めることができる。

①極端降雨の再現精度の高い気候モデルが存在する。

②温度変化のレベルごとに確率分布の推定可能な年数の計算がなされている。

後者は、ある年 $i = a$ での確率分布 $F(r_m(t_a))$ が、一定の気候条件下における確率現象として与えられることから必要になる条件であり、温度変化レベルを一定とした条件下での長期計算、或いは、温室効果ガス濃度を一定とした短期のアンサンブル計算などにより得られることができる。しかしながら、現実問題として、①は計算機能力の制約及び現象に対する知見の不足などの原因により、②は計算機能力の制約から、条件は満足されていない。今後に期待するところが大きい、そのままでは現時点で将来の変化を把握することができないことになる。そこで、データの特性を把握した上で適当な近似解を求める作業が必要になる。

3.3. 基本的な将来予測方法

前節に示した①の再現精度についてであるが、先にも述べたように、また、次章にて検討するように、20Km 格子という高解像の GCM20 の計算結果においても極端降雨は観測値より小さい傾向があり、格子間距離が大きいことによる平均化の影響がみられている。とはいえ、全く再現できないわけではなく、例えば年最大日降雨量については、60%から 80%程度の再現はできている。

このことを踏まえ、本報告では図-3.1 に示す方法にて将来の年最大降雨量を推定することを考える。すなわち、気候モデルにおける現在と将来の関係を求め、現在の観測値にこの関係を導入して将来を予測しようというものであり、図中の f は気候モデルでの確率分布を表している。

3.4. 気候モデルの f の推定

3.4.1. 解析データ数の確保

さて、図-3.1 の気候モデルの確率分布であるが、前節の②の条件が満足されていないことから、気温レベルごとに設定することはできない。GCM20 の計算でいえば、現在及び将来 20 年間の計算が

通しで1回なされているのみである。計算期間を通じて気候変動の影響が導入されているから、厳密に言えば、ある地点の年最大降雨量のデータは、気温レベルごとに1つしかないことになる。これでは、 f を検討することはできない。

f の検討には複数のデータが必要であり、次のような方法が考えられる。

①現在、将来のそれぞれ20年間のデータを気候変動の影響が小さいものとして用いる。

②地域内のデータが同じ確率分布に従い、かつ互いに独立していると仮定して用いる。

前者について、 f を連続した t_i に対し与えることはできないが、現在及び将来20年間の平均気温変化に対する f の変化、GCM20の場合でいえば、A1Bシナリオの100年後の気温上昇に対する f の変化を求めることが可能である。この場合、100年後の変化であるためには、現在及び将来の平均値が各20年間の同じ位置（例えば中央の10年）の f を与える必要がある。同じ位置の f が与えられるためには、20年間の f の年と変化量の関係が同じ、または年と変化量が直線の関係にある必要がある。図-2.4に示したように、現在と100年後の将来の気温上昇量は異なっており、前者の条件は満足されない。一方、20年程度であれば、後者の仮定は概ね成立するといつてよいであろう。よって、現在、将来の20年間のデータを用いることにより100年後の f の変化量を与えることは可能であろう（なお、100年が明確でない場合には、80～100年という表現は可能である）。

②は地域的なデータの利用であり、地域内の降雨が同じ確率分布に従うための地域区分及び地域内の年最大降雨の独立性が問題となる。これらは、①の平均値の代表性の問題と比較して、より大きな問題といえることができる。手順としては、まず①を用いることを前提とし、必要があれば②の検討を行うのが妥当であろう。

3.4.2. 20年データによる推定/のばらつき

ここでは、現在、将来の各20年間のデータを用いて f の変化を求める場合のばらつきについて検討し、地域的データ利用の必要性を確認する。

f の推定であるが、河川計画検討時には、年最大値データを順位別に並べ非超過確率との関係としてプロットし、これを近似する関数が検討されるのが通例である。従って、現在、将来の f の変化を考えた場合、各期間の同じ順位の降雨量の相互関係を調べるのが適当と考える（図-3.2参照）。また、相互関係については、現在と将来の比をとることとした。これは、年最大降雨量の気候モデルの算定値が観測値より小さい傾向にあることから、絶対値の差がパラメータにならないよう配慮したことによる。

図-3.3は、現在、将来の f が等しい場合を対象に、順位別の将来と現在の比のばらつき状況をモンテカルロ法により求めたものである。すなわち、

①現在、将来の f が同じガンベル分布に従うものとして、20年間の現在、将来の最大降雨量をそれぞれ擬似乱数により発生させる。

②同じ順位の将来と現在の比をとる。

という試行を十分大きな回数である5000回実施し、結果をパーセンタイル値で整理したものである。ガンベル分布のパラメータである σ/μ （ σ ：標準偏差、 μ ：平均）は0.4とした。これについては、後に更に検討するが、全国の各格子点の値は、現在で0.15～0.97（平均0.34）、将来で0.15～0.70（平均0.37）であり、平均値より若干大きい値である。なお、ガンベル分布は非超過確率0に向かって ∞ に漸近するが、物理量として有り得ないことから、モンテカルロ試行では、 r_m/μ の最小値を0.001とした。

図より、ばらつきは高低両者の順位で大きく、50パーセンタイルを中心にこれより大きいパーセン

タイルでは凹の、小さいパーセンタイルでは凸の曲線を描いていることが分かる。順位1位のばらつき幅をみると、95～5パーセンタイル値で1.6～0.6のばらつきがある。これはかなり大きな値である。外挿して与えられる再現期間100年といった再現期間では、ばらつきは更に大きくなるものと思われ、将来降雨量変化の把握を困難にすることが予想される。なお、50パーセンタイル値は順位によらず真値である1を示している。

図-3.4には95及び5パーセンタイル値の σ/μ による変化を示す。順位1と10の場合について示したが、 σ/μ が大きくなるに従って95パーセンタイル値は大きく、5パーセンタイル値は小さくなり、ばらつきの幅が大きくなることが分かる。 σ/μ が小さければばらつきは小さくなるが、 $\sigma/\mu=0.2$ でも95～5パーセンタイルの差は0.6以上あり、ばらつきが大きいことが分かる。

参考までに、全国の年最大日降雨量の算定データを用いて求めた将来/現在の順位別パーセンタイル値を図-3.5に示す。順位ごとに95～5パーセンタイル値の幅をみると、図-3.3と比較して高順位でのばらつき幅がやや大きい、低順位でのばらつき幅が小さいといった違いがあるが、全体的には同程度のばらつき幅となっており、将来、現在の f に大きな差がないことを推察することができる。低順位のばらつき幅は図-3.3よりかなり小さいが、これは、小さい非超過確率部分での降雨量がある水準以下にはならないことを表している。年最大降雨量の最小値の設定には留意する必要がある。

50パーセンタイル値は1.1～1.2の値を示しており、将来の降雨量が現況の1～2割程度増加するであろうことが推察される。また、高順位になるに従って大きくなる傾向が見られているが、図は降雨特性に違いのある全国のデータを同様に扱っている。こうした扱いは、降雨量が同程度で互いに独立したデータを対象に議論すべきであり、より詳細には後に検討する。ここでは、概略的な傾向として捉えておくものとする。

以上示されるように、20年のデータのみでは、ばらつきが大きく、そのままでは計算格子点ごとに大きく異なる将来予測値が提示され、推定幅を大きくとった将来値の設定が必要になる。従って、3.4.1に示した地域的なデータの利用を検討することとする。

3.4.3. 地域的なデータの利用

1) 確率分布が同様な地域の分割

データ数を増やすために地域的なデータの利用を考える。20年間データと併せて f の推定のための構成データとして扱うためには、3.4.1に示したように、地域内の最大降雨の確率分布が同じで、互いに独立なデータである必要がある。

まず、地域内の最大降雨の確率分布が同じであるとの条件であるが、この条件を満足する地域区分を直接的に求めるのは困難である。ここでは、確率分布が同じの意味を地域内の気象が類似しており、同程度の最大降雨が生じると読み替えて考え、ダムの超過洪水検討の際に参考として用いられている地域別比流量図の地域分割を参考に考えるものとする⁴⁾。地域分割を図-3.6に示す。図-3.7(1)～(3)には、地域内におけるGCM20の計算格子点を示す。図には計算結果の検証に用いたアメダス観測点についても併せて示してある。計算結果の検証は主として4章にて行う。

表-3.1は各地域内の計算格子点であり、アメダス観測所数も合わせて示している。用いた点は全て地上のものであり、島嶼部については、ほとんど点がないことから一部を除き今回対象としていない。従って、地域別比流量図の九州・沖縄として用いたデータは九州部分のみであり、以降の表記は九州としている。なお、地上アメダスの観測点は概ね20Km程度の間隔に設置されている。従って、基本的にはGCM20と同様の測点密度であるが、期間内に移動している観測点があり、本報告では、データ整理の簡素化のため、移動している観測点については省略している。このため、アメダスの観

測点密度がやや小さくなっている地域がある。

ここで、地域別比流量図の地域分割について、最大降雨の確率分布の同一性を検討してみる。検討は、年最大 1 日降雨量を対象に、次の 2 つのデータ群を対象に、「両者の分布が等しい」を帰無仮説として順位和検定を実施した。

①地域内の 20 年×格子点（観測点）数の全データ

②各格子点（観測点）の 20 年のデータ

①は、 f の推定のための構成データであり、これを基本に各格子点（観測点）での分布との同一性を評価するものとした。地域内の 2 つの格子点（観測点）の 20 年のデータを対象とする方法も考えられるが、相対的な比較となり、結果の評価にやや明瞭さが欠けることが予想される。因みに、 f は、①のデータ群を降順に並べ、各データに非超過確率を与えることで推定されることになる。

「分布が同一」の帰無仮説が棄却されない条件は、データ数が比較的大きいことから、順位和が正規分布に従うと仮定した次式を用いた⁵⁾。

$$-\alpha\sqrt{\frac{m \cdot n \cdot (m+n+1)}{12} + \frac{m \cdot (m+n+1)}{2}} \leq W \leq \alpha\sqrt{\frac{m \cdot n \cdot (m+n+1)}{12} + \frac{m \cdot (m+n+1)}{2}} \quad (3.2)$$

ここに、 m 、 n ：対象とするデータ群のデータ数で、 m を順位和を求めたデータ群とする。 W ：順位和、 α ：検定の有意水準に対応する定数で、5%で 1.96、1%で 2.57 となる。

表-3.2 に、検定結果を示す。検定結果は、地域内で「分布が同一」の仮説が棄却されない格子点（観測点）数の割合（以下、適合割合とする）として示しており、GCM20 計算値及び地上アメダスデータの両者を示した。地上アメダスデータは GCM20 における、現在の 20 年（1979～1998）の期間のものを用いている。

GCM20 の結果をみると、全体に現在より将来の適合割合が高くなっている。この理由は不明であるが、検定年が 20 年と比較的短いことから、例えば確率年の非常に大きい降雨の発生による擾乱が現在で顕著であることなどが考えられる。適合割合は、北海道、東北、中部の各地域で低くなっている。また、北陸、紀伊南部、四国南部、九州では現在の適合割合がやや低い値となっており、北陸では将来の適合割合もやや低い。これらを除けば、有意水準 5%で概ね 80%程度以上、1%で 90%程度以上の適合割合が得られており、完全ではないが概ね同一の確率分布に従っているとしてよいように思う。

地上アメダスについても GCM20 と同様に北海道や東北、中部での適合割合が小さくなっている他、紀伊南部や四国南部での適合割合が小さくなっている。また、全体的に GCM20 の将来の適合割合よりやや小さい適合割合を示している。GCM20 に比較して地上アメダスの適合割合が小さいことの原因は明確ではないが、格子間隔が小さいとはいえ、20Km は降雨現象を再現するには依然として大きい値であり、GCM20 の結果がより平均化された降雨を与えていることに原因があるものと推察している。

ここで、地域分割の妥当性を更に検討するため、GCM20 の場合を対象に、適合割合が小さかったケース（やや小さいものも含む）を対象に、棄却点、棄却されない点の分布を調査した。**図-3.8(1)～(3)** に結果を示す。図は、有意水準 1%の場合について示しており、棄却点と棄却されなかった点の分離状況が比較的明瞭な地域について、棄却域を示すと以下の通りである。

- ・北海道：南東部及び北西部
- ・東北：余り明瞭ではないが、現在、将来に共通する領域として、中南部の太平洋側沿岸部
- ・北陸：能登半島の南側本土

- ・中部　：東部
- ・九州　：南東部

地上アメダスでは、棄却点と棄却されなかった点の分離は GCM20 の結果ほど明瞭でなく、全体として両点が混在する傾向がみられるが、北海道南東部、東北中南部の太平洋沿岸部、能登半島の南側本土、中部東部での棄却域が認められている。特に、中部東部の棄却域は GCM20 と同様の明瞭さで認められている。

ここで、上記棄却域のうち北陸、九州については、棄却域に含まれる点が少なく、これら地区を区分するのは適当でないと考える。これら地域の適合割合はそれほど小さくないので、地域分割は変更しないものとした。今回は実施していないが、隣接地域の状況も合わせた地域区分の再編成が必要かもしれない。今後の課題としたい。

また、紀伊南部や四国南部では地域内の格子点が少ないことから、棄却点そのものが少なく、棄却域の評価が困難である。GCM20 では現在の適合割合がやや小さいが、将来については十分大きな値が得られており、北陸等と同様に、これら地域についても変更しないものとした。なお、格子点が少ないことは、少数の極端なデータの影響を受けやすく、検定が不安定になる可能性がある。アメダスデータの四国南部などにはそうした影響が考えられるがこれについても今後の課題としたい。

北海道、東北、中部については、地域内を更に分割することで適合割合を大きくできる可能性がある。そこで、**図-3.8(1)～(3)**の結果を参考に、試行錯誤を交えた検討を行い、**表-3.3**の区分を得た。この場合の適合割合を**表-3.4**に示すが、何れの地域でも適合割合が大きくなっており、分割の効果がみられている。適合割合そのものは、先に示した有意水準5%で80%程度以上、1%で90%以上よりやや小さく、5%水準で60(GCM20の現在)～70(同将来)%以上、1%水準で70(同現在)～80(同将来)%以上となっている。現在の有意水準5%では一部適合割合が50%台の地域もみられるが、現状の格子点数の制約条件下では、これ以上の分割は難しく、また、20年のデータでの検定の安定性にも限界があると考えられる。ここでは、**表-3.3**の分割により地域内の確率分布が同一との仮定が概ね成立するものと判断し、次章以下の検討を実施するものとする。**図-3.9**にGCM20の格子点に対する各地域の再分割区域を示す。

なお、以下の検討は、地域別比流量図による地域区分及び**表-3.3**に示す一部地域の更なる分割の両者について実施したが、4章に示すGCM20と地上アメダスデータの比較については、地域別比流量図の地域区分のみについて行っている。

2) データの独立性

年数×地域内点数のデータより作成される f の推定（既に前項の順位和検定の一方の確率分布として用いた）が、データ数に見合うばらつき低減効果を持つためには、地域内のデータ間の独立性が確保されていなければならない。ここでは、この独立性について検討を行うが、これに先立ち、独立性が確保されていない場合の影響について確認しておく。

今、地域内の各格子点（観測点）の年最大降雨量の年毎の値が全く同じで、各点の分布が f に従うものとする。この場合の f と全データを用いて推定される f の推定関数 f_e の関係を**図-3.10**に例示する。図は、20年のデータがある場合について示したが、影響は f_e が階段状になるものとして捉えることができ、20年程度のデータがあれば、 f の関数形が大幅に変化することはない。実際には、完全に一致することではなく、相関があるとしても、それほど強いものではないと考えられるので、 f_e は f をかなりの程度近似するといつてよいであろう。

上記は、各点の分布が f に従う場合のもので、その場合の独立性の影響は小さいと考えられる。独

独立性がない場合のより重要な問題は、各点の分布が f の出現のばらつきを十分反映したものにならない点にある。つまり、出現のばらつきを低減させるために空間データを時間データと同様に扱い、 f を推定しようとしているにも拘らず、空間データの数があるままばらつきの低減に結びつかないということである。図-3.10 の例の場合では、 f_e の出現ばらつきは 1 点の 20 年データが持つばらつきと同様であり、 f_e が f からずれる可能性が高いことを意味している。以上を確認の上、以下に独立性について検討する。なお、以下の検討は地域別比流量図の地域区分を対象に実施している。

表-3.5 は、地域内の年最大 1 日降雨量の発生日について、互いに異なる日の数を示したものである。つまり、複数の地点で同日に発生している場合には、これをまとめて 1 日としている。表より、GCM20 の発生日の数は年最大 1 日降雨量の十数%以下であり、多くの年最大 1 日降雨量が同じ日に生じていることが分かる。順位別にみると、20 年最大の降雨量の同時生起の割合が高く、ある降雨により周辺の最大降雨量が同時に発生するという傾向が認められる。当然のことながら、この傾向は格子点数が少ないほど顕著である。地上アメダスについても多くの年最大 1 日降雨量が同じ日に生じているが、GCM20 に比較して重複は少なくなっている。先に同一の確率分布であることの適合性の違いで述べたと同様に、この理由として GCM20 がより平均化された降雨を表していることが考えられる。

上記のように、年最大降雨の発生日に重複が多く、各点の降雨にある程度の相関関係があることが予想されるが、降雨の絶対量としての独立性は別の問題でもある。年最大 1 日降雨量の独立性は、地域内の 2 点の年最大 1 日降雨量に対し、スピアマンの順位相関係数の有意性検定を適用して実施した。

スピアマンの順位相関係数 r_s は次式で定義される。

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_i d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (3.3)$$

ここに、 d_i : 同じ年に発生した年最大 1 日降雨量の、それぞれの地点での順位の差、 n : データ年数 (=20) である。また、母相関係数 = 0 を帰無仮説とする検定統計量 t_0 は次式にて算定される。

$$t_0 = \frac{|r_s| \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_s^2}} \quad (3.4)$$

t_0 は自由度が $n-2$ の t 分布に従い、有意水準 5% では $t_0 \geq 2.101$ で、1% では $t_0 \geq 2.878$ で帰無仮説が棄却される。

表-3.6 に 2 点間の母相関係数 = 0 が棄却されない（つまり、2 点が互いに独立）地域内の割合を示す。割合は 2 点の組合せ数 $(= (N^2 - N)/2)$ に対するものである。表より、発生日の重複の割合に対し、2 点が独立しているとの組合せ割合は高くなっている。その絶対値は、地上アメダスと比較的高い割合となっているのに対し、GCM20 では、地上アメダスと比較して全体にやや低い割合となっており、特に格子点数の少ない地域を中心に数十%程度の低い割合となっている。

以上のように、GCM20 の独立性については、余り成立していないと考えられる地域もあるが、格子点数があるままばらつきの低減に寄与しないとしても、ある程度の低減効果は期待できる。また、先に示したように、確率分布を歪ませる影響は小さいと考えられることから、本報告の将来の確率分布変化の検討は、地域内の空間分布データを時間変化データと同等に扱い実施するものとしている。結果の詳細は 5 章に示すが、こうして得られた各地域の分布（地位内平均値で無次元化）を平均化すると、現在、将来の確率分布がほぼ一致し、かつ概ねガンベル分布に一致するとの結果を得ており、妥

当な方法であったと考えている。

なお、独立性が十分でない影響について、本報告では表-3.6 に示したスピアマンの順位相関係数の有意性検定結果を用いて定量的な評価を実施しており、他の条件での検定結果も含め5章にその詳細を示してある。

3.4.4. 地域的データの利用による推定/のばらつき

3.4.2では、20年データによる推定 f のばらつきを検討した。ここでは、同様に、地域的データを利用した場合の推定 f のばらつきを確認しておく。

3.4.3では、空間データと時間データを同等に用い、全データから個々のデータに対する非超過確率を設定する方法(図-3.10 参照)について触れたが、その前に、まず3.4.2で示した20年の順位データとして整理する場合を確認しておこう。

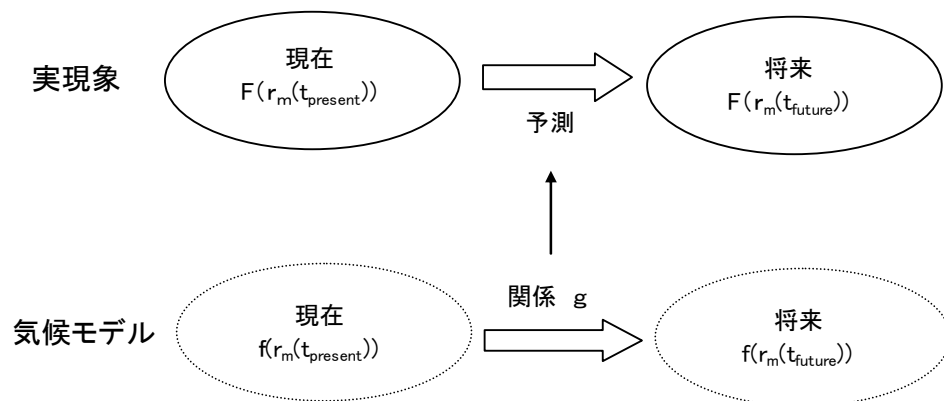
図-3.3では、50パーセンタイル値が順位によらず真値を表していた。従って、地域内の格子点データで、図-3.3と同様の図を作成し、50パーセンタイル値を用いれば、将来の順位別降雨を求めることができる可能性がある。一方、図-3.3は、十分大きな5000回のモンテカルロ試行による求めたものである。これは、地域内の格子点数が5000あることを意味しているが、地域別比流量図の場合には30~250程度、修正した地域区分では30~130程度の格子点数でありかなり小さい。そこで、こうした格子点数の違いによる50パーセンタイル値のばらつきを、図-3.3と同様に現在と将来の確率分布が同じ $\sigma/\mu=0.4$ のガンベル分布に従う場合を対象に、モンテカルロシミュレーションにより調査した。結果を図-3.11に示す。

図は、順位1及び10の50パーセンタイル値の95%信頼区間を示したもので、地域内の格子点数が30程度の場合には、順位1の95%信頼区間は ± 0.1 程度の幅を持っていることが分かる。これは比較的大きい幅である。また、格子点数200程度でも95%の信頼区間は $\pm 5\%$ の幅があり、この程度のばらつき(GCM20で予測される100年後の降雨量変化と同程度規模)を持っていることが分かる。実際のばらつきは、将来と現在の比が大きくなれば大きくなる。また、 σ/μ の影響も受ける。各地域の σ/μ は、0.35~0.5であり、ここで用いた0.4は平均的な値である。また、後に示すように、将来と現在の比は1より大きいことから、ばらつきは更に大きくなることが予想される。従って、今回の格子点数程度では、順位別の50パーセンタイル値を求める方法は、適切でないといえることができる。

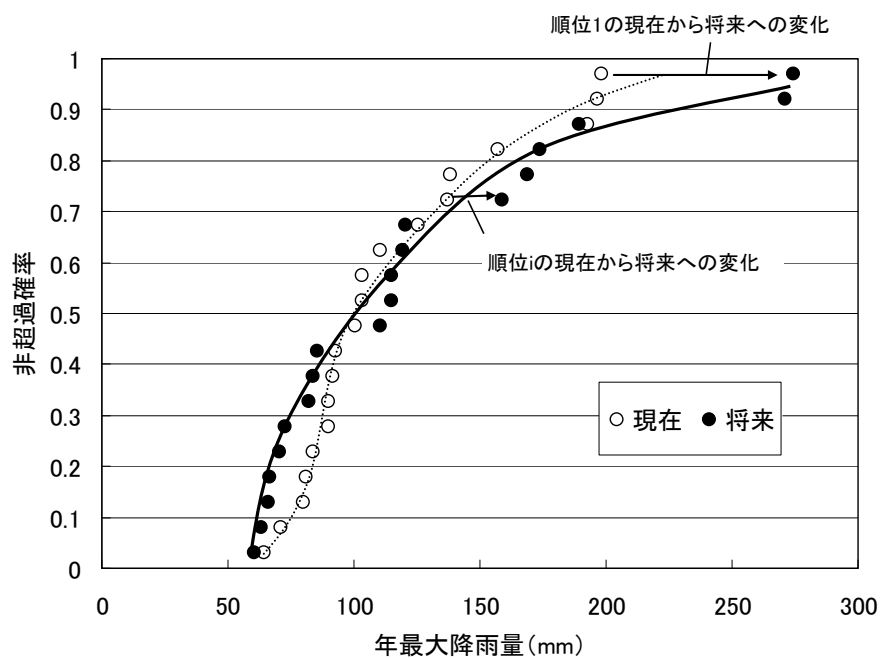
参考までに、図-3.12に順位別の将来/現在のばらつき状況例を示す。図は、50パーセンタイル値の順位による変化が大きい例であるが、関東では上に凸の変化を、また、紀伊南部では上位の順位で急激に大きくなる変化を示している。なお、各順位での5パーセンタイルと95パーセンタイルの差は、図-3.3と同程度になっていることが確認される。

図-3.13は地域内の年最大降雨量の全データから確率分布を作成した場合の、格子点数と95%信頼区間の関係を示したもので、確率分布の設定は図-3.3、3.11と同様である。図は、真の確率分布からの差(平均値で除して無次元化してある)を示しており、左側が2.5パーセンタイル、右側が97.5パーセンタイルを示している。図より、河川計画で問題となる非超過確率が大きい領域(0.95程度以上)では95%信頼区間の幅を0.1程度以下に抑えようとすると、200点以上の地域内の格子点数が必要になることが分かる。また、地域内格子点数20点程度では、0.28程度の幅となっている。後に示すように、気候変動による年最大降雨量の変化は0.1~0.3程度と考えられる。今回の地域内の格子点数は大きくて200点程度であり、こうした整理を行っても統計上のある程度のばらつきは避けられないことが分かる。

以降の検討、特に 5 章の検討は以上の検討を踏まえ進めている。



図－3.1 将来の予測方法の概要



図－3.2 現在と将来の推定 f の比較説明図

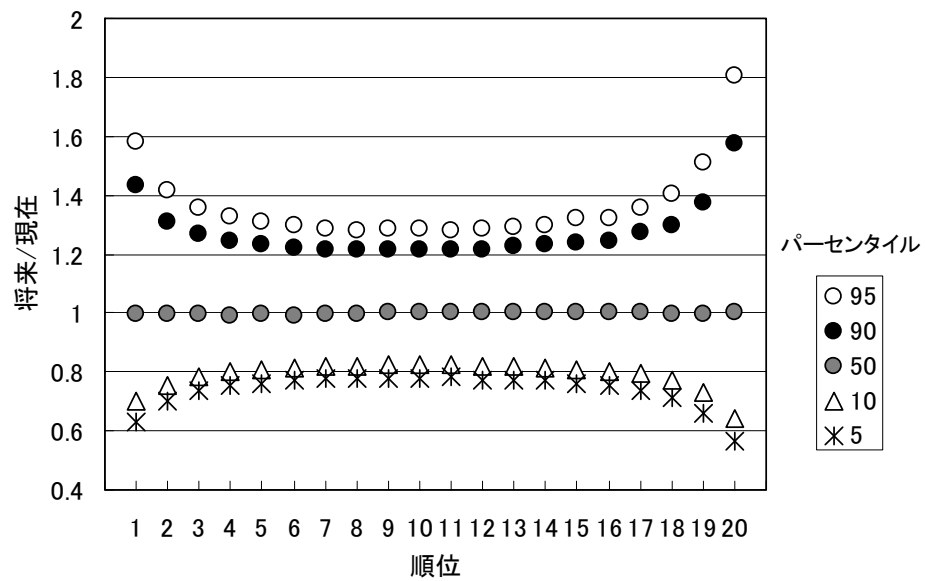


図-3.3 現在、将来が同じ f の場合の順位別の将来/現在のばらつき（ガンベル分布、 $\sigma/\mu=0.4$ 、モンテカルロ試行回数=5000）

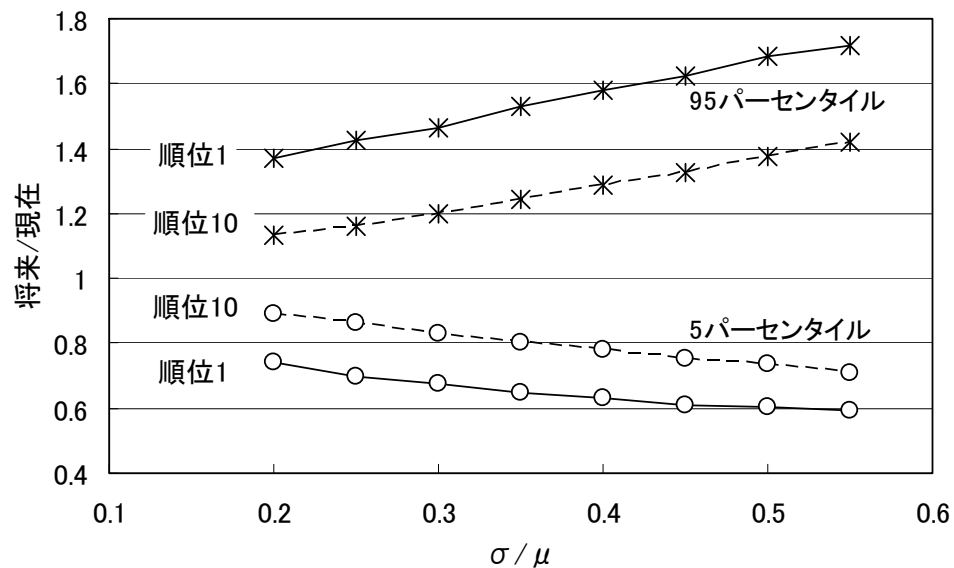


図-3.4 順位1、10の95及び5パーセンタイル値と σ/μ 、将来/現在の関係（同じ f （ガンベル分布）、モンテカルロ試行回数=5000）

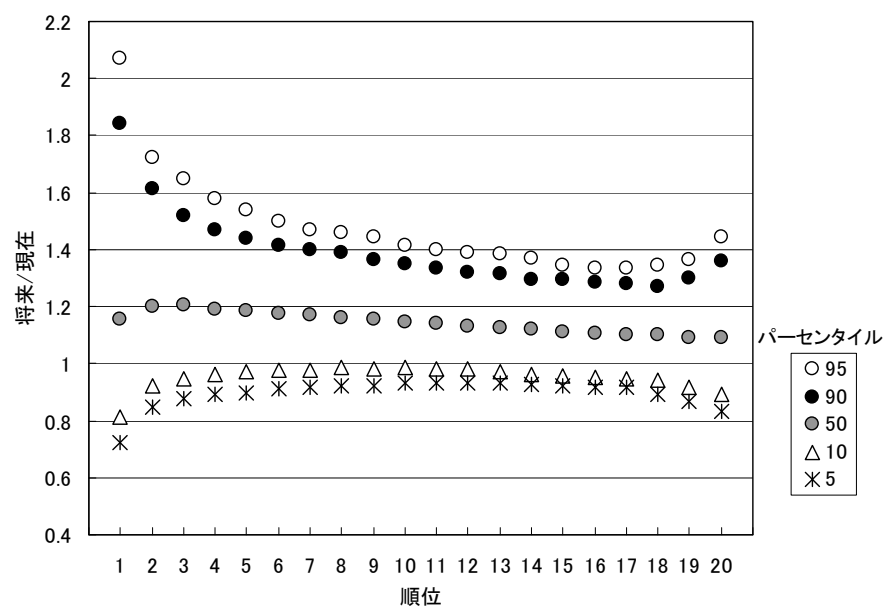
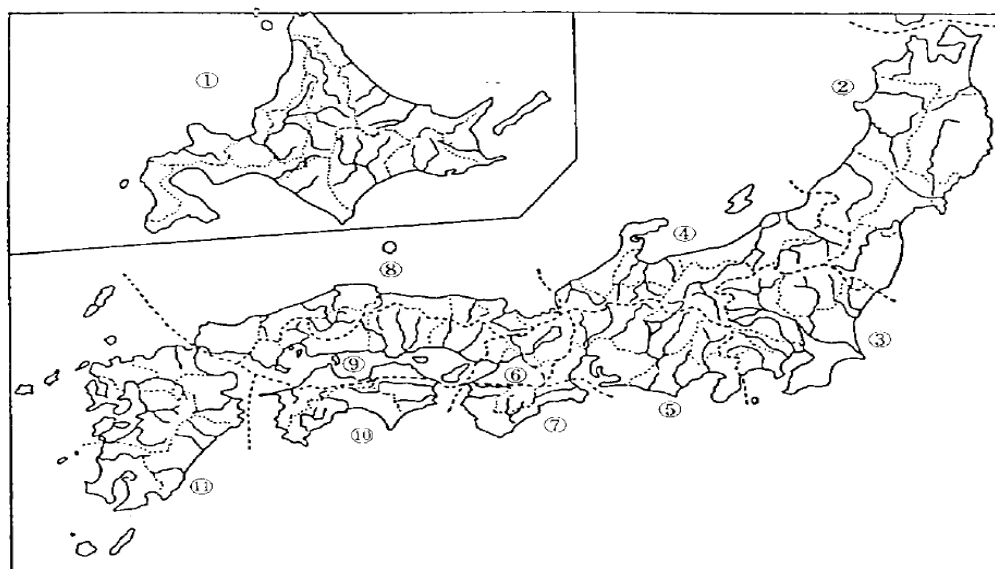


図-3.5 順位別の将来/現在のばらつき（全国データ）



NO	地域	NO	地域
①	北海道	⑦	紀伊南部
②	東北	⑧	山陰
③	関東	⑨	瀬戸内
④	北陸	⑩	四国南部
⑤	中部	⑪	九州・沖縄
⑥	近畿		

図-3.6 地域別比流量図の地域分割

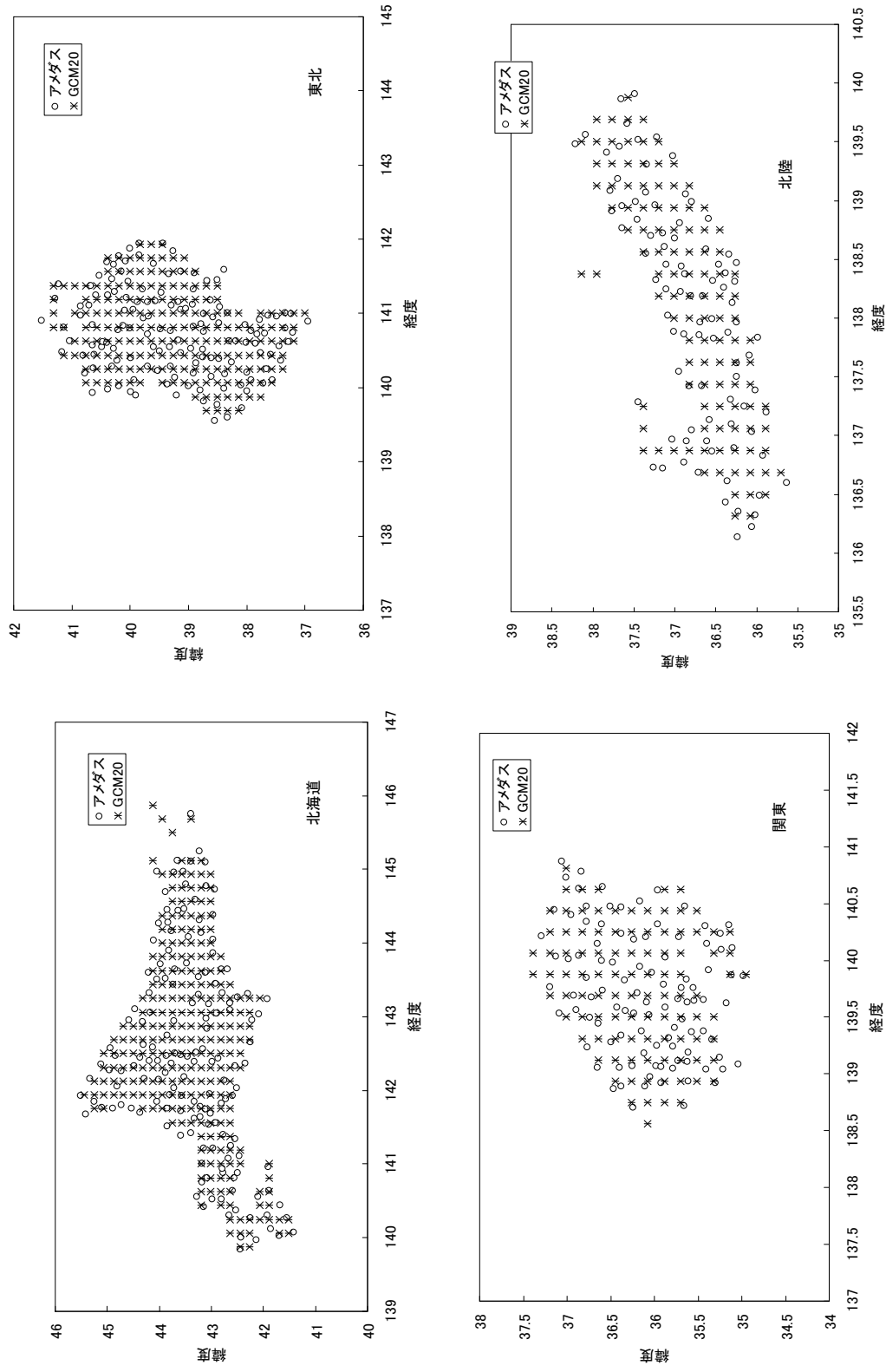


図-3.7(1) 地域別の計算格子点 (GCM20) と地上アメダス観測点

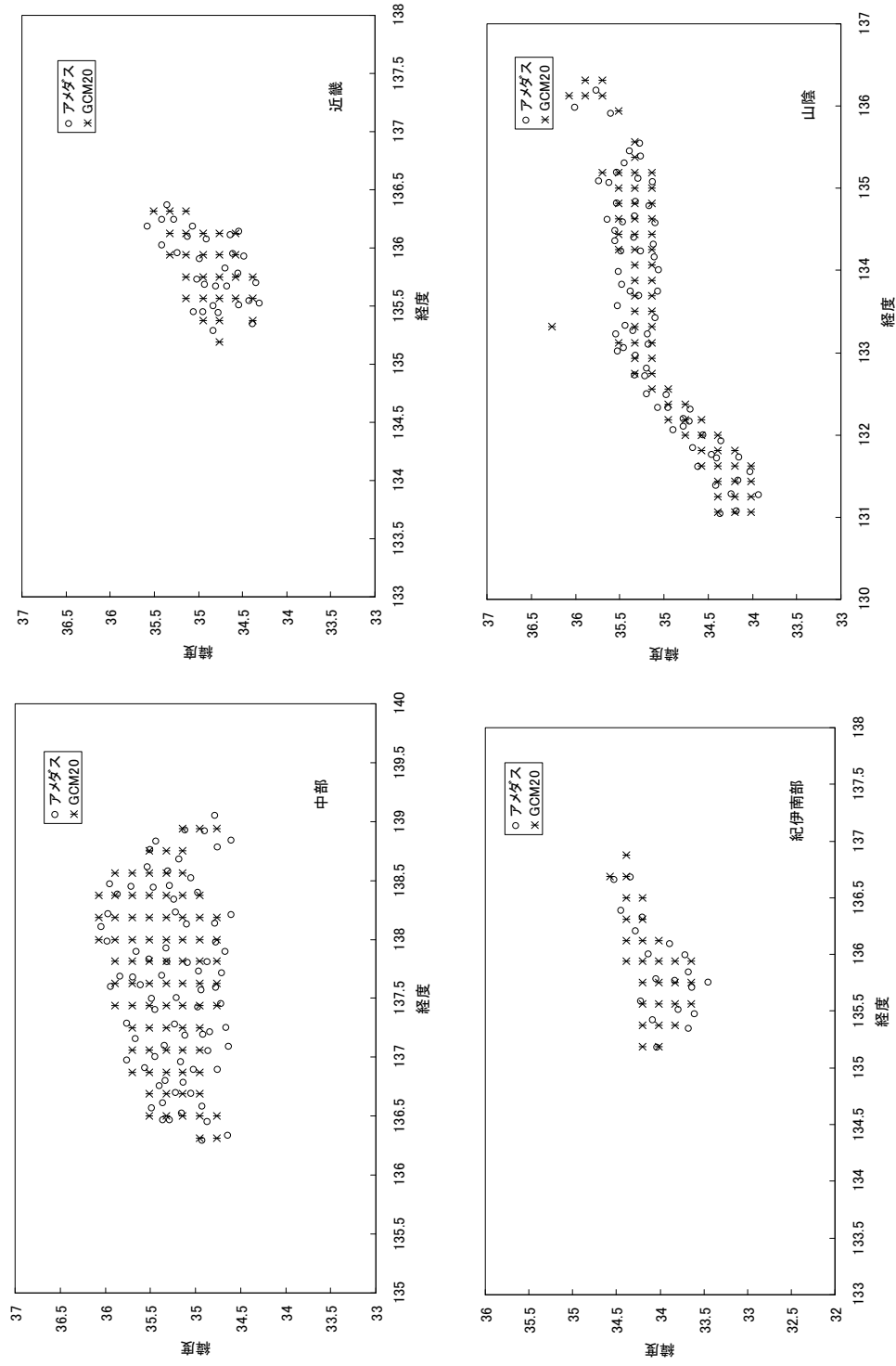


図-3.7 (2) 地域別の計算格子点 (GCM20) と地上アメダス観測点

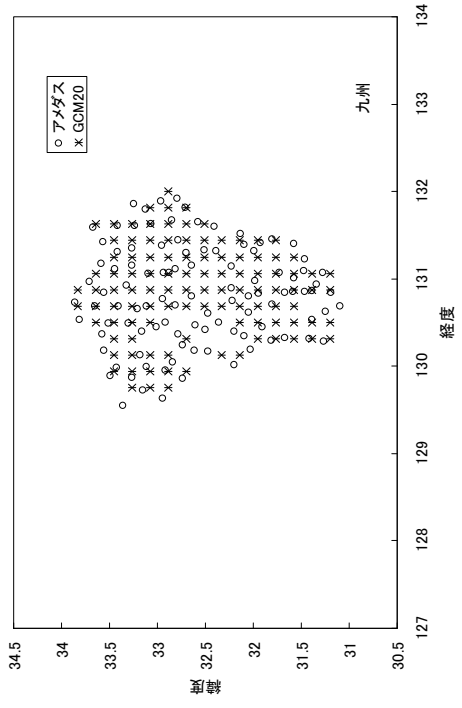
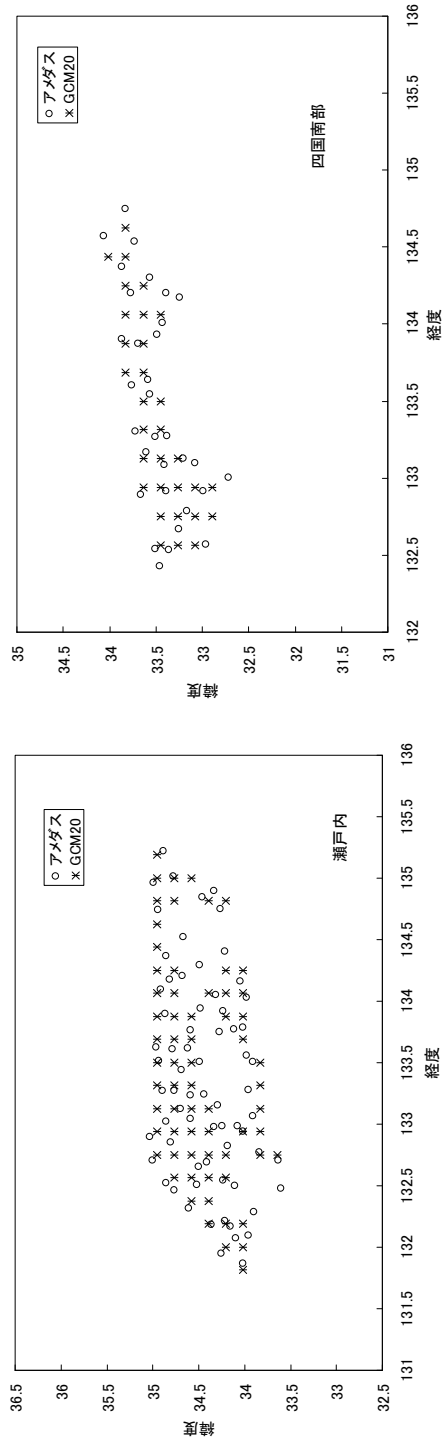


図-3.7 (3) 地域別の計算格子点 (GCM20) と地上アマダス観測点

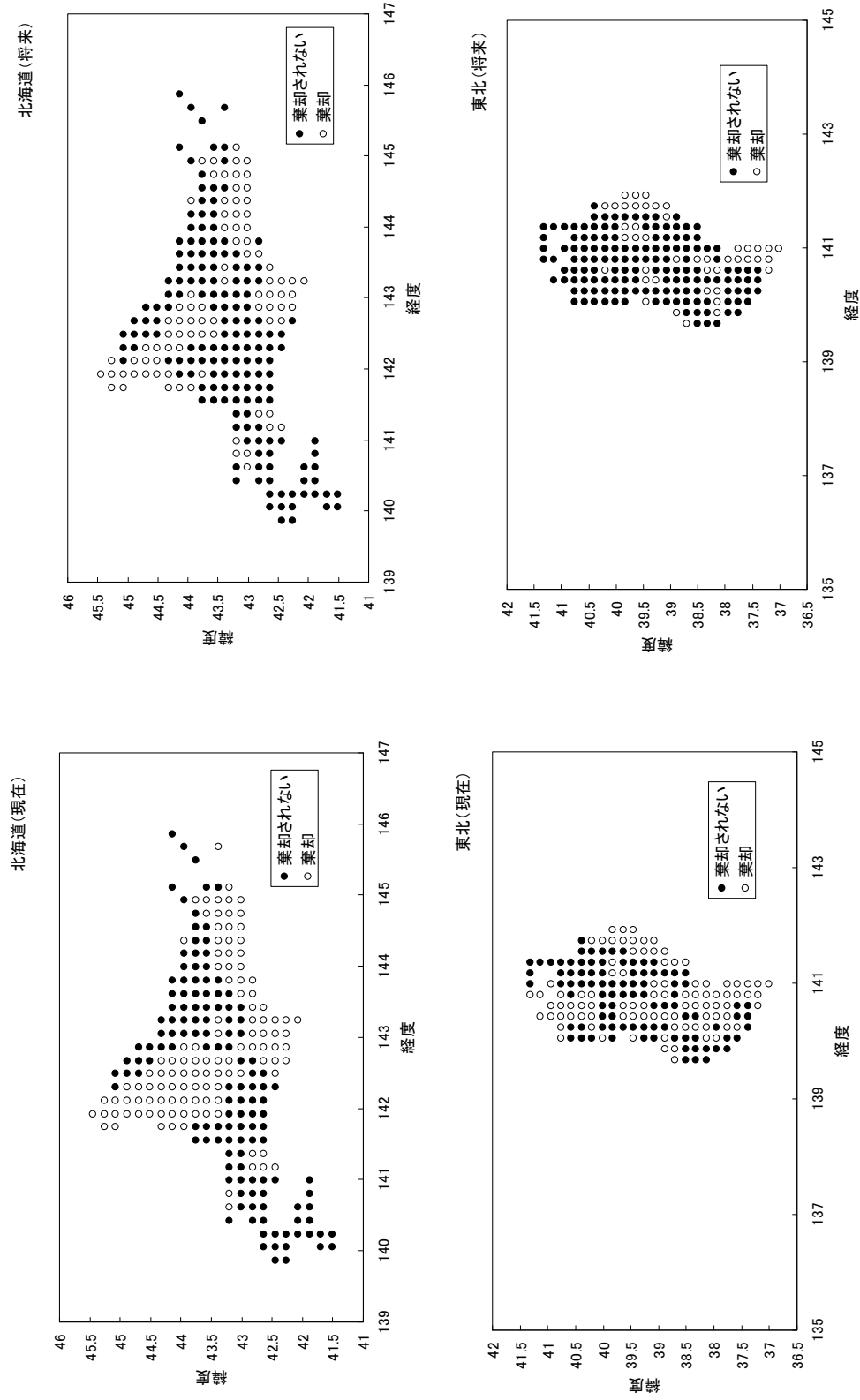


図-3.8(1) 地域内の棄却点と棄却されなかった点の分布 (適合割合の小さいケース：有意水準1%)

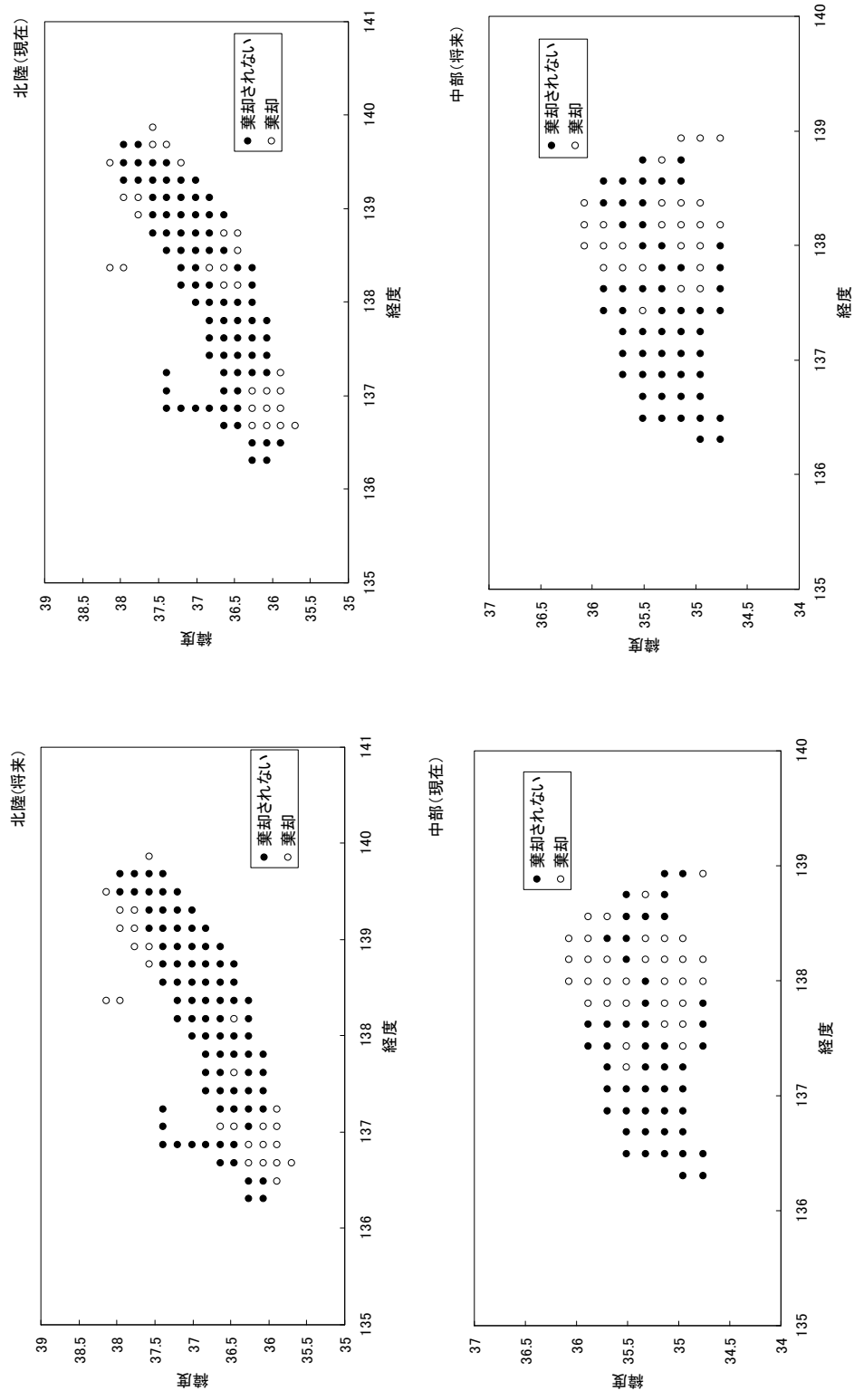


図-3.8(2) 地域内の棄却点と棄却されなかった点の分布 (適合割合の小さいケース：有意水準1%)

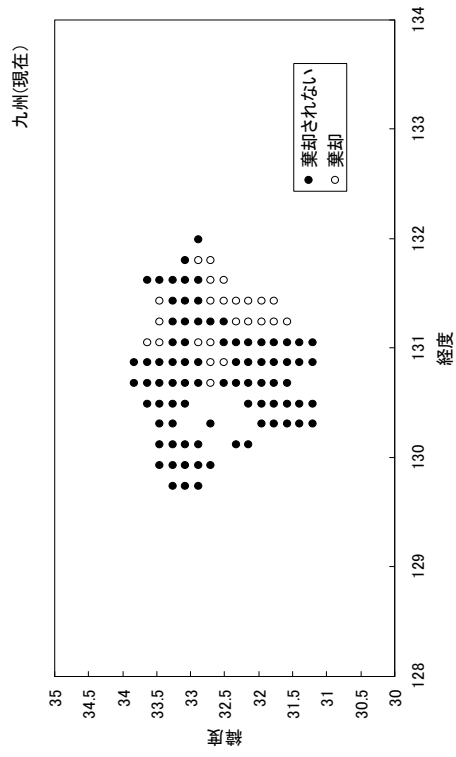
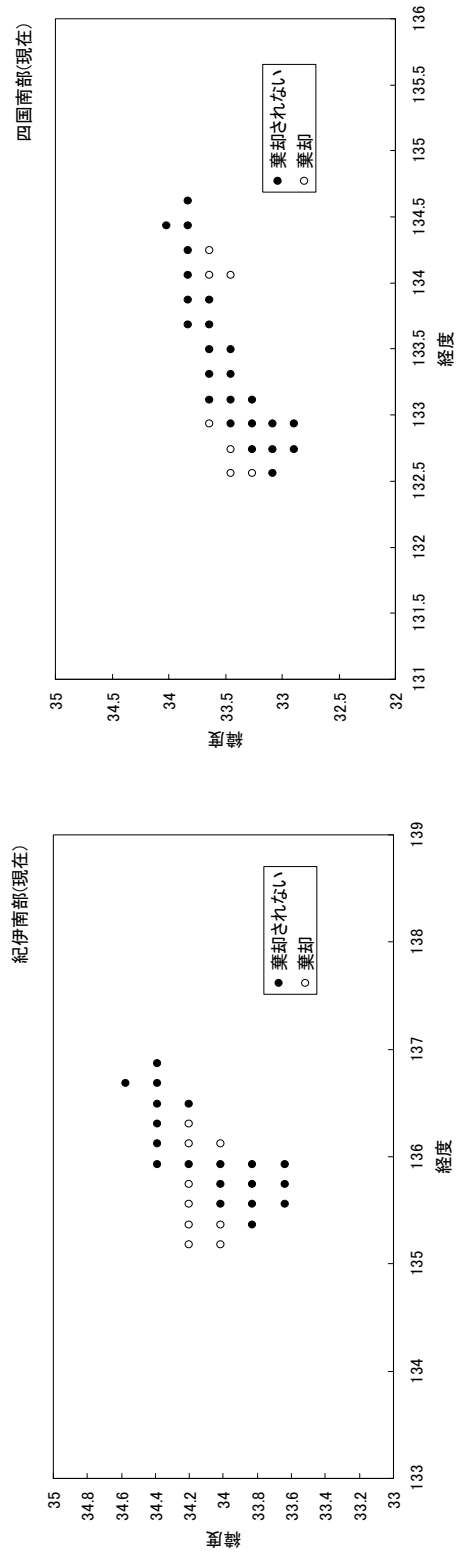


図-3.8 (3) 地域内の棄却点と棄却されなかった点の分布 (適合割合の小さいケース：有意水準1%)

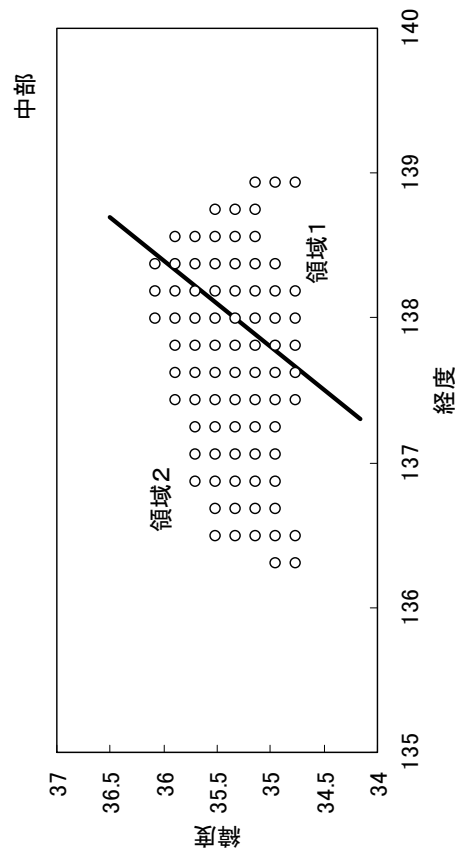
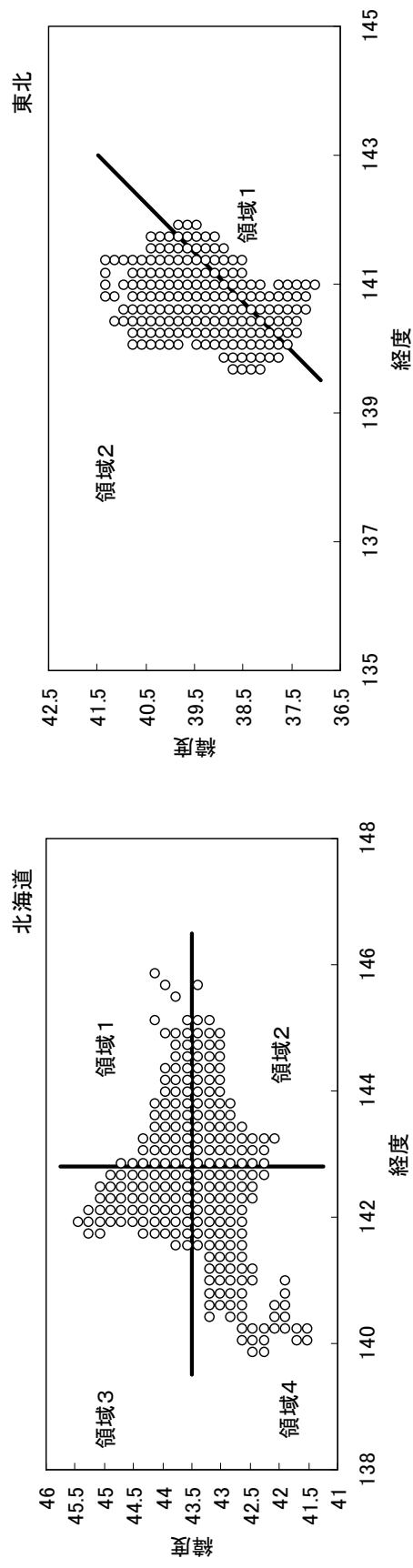
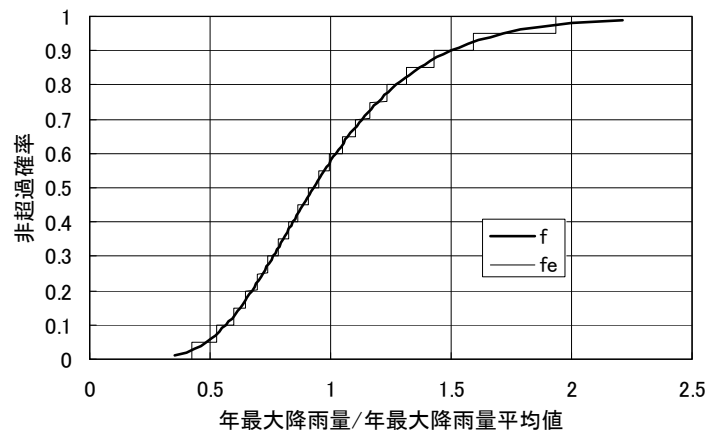
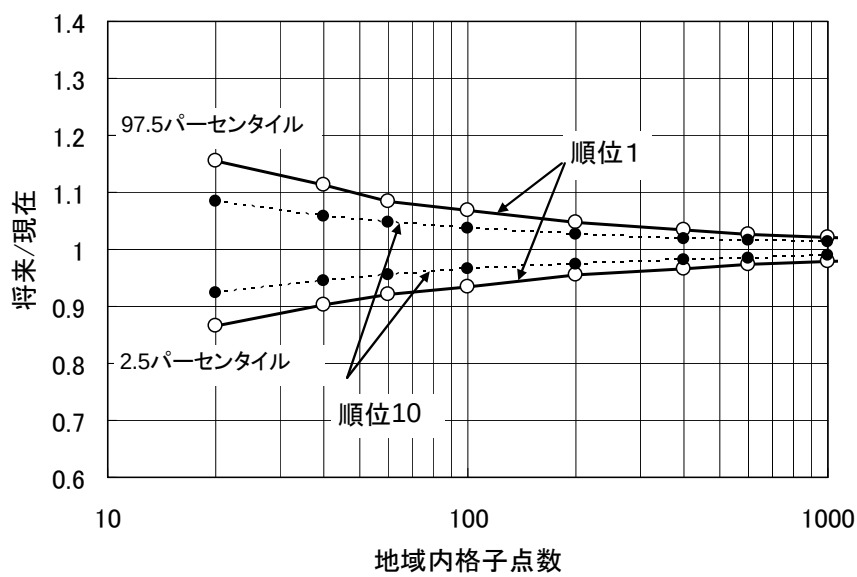


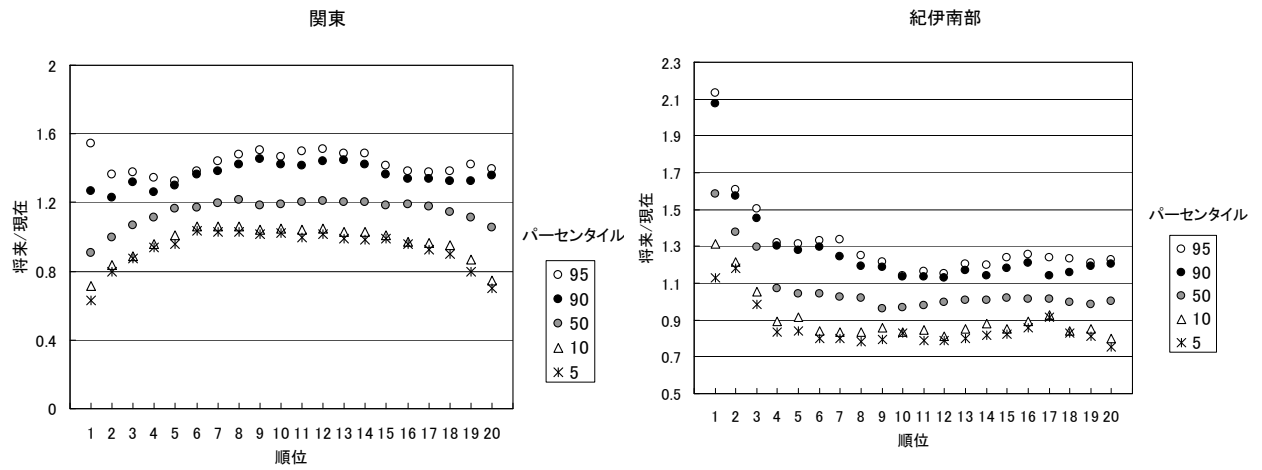
図-3.9 北海道、東北、中部の再分割区域と GCM20 の計算格子点の関係



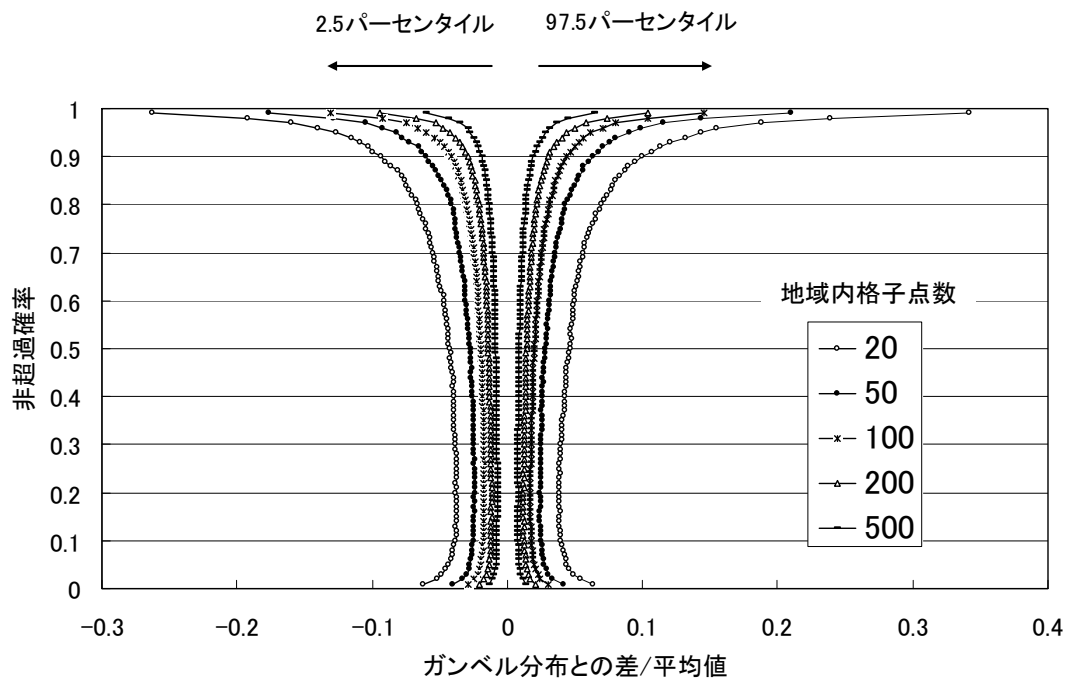
図－3.10 f と地域内のデータより推定される f_e の関係（各点のデータは f に従うと仮定、 f : ガンベル分布、 $\sigma/\mu=0.39$ ）



図－3.11 順位 1 及び 10 の将来/現在の 50 パーセンタイル値の 95%信頼区間と地域内点数の関係（現在、将来が同じ $\sigma/\mu=0.4$ のガンベル分布、モンテカルロ試行回数=5000）



図－3.12 順位別の将来/現在の地域内のばらつき例(GCM20)



図－3.138 地域内格子点数と 95%信頼区間の関係 (20 年の年最大降雨量で現在、将来が $\sigma / \mu = 0.4$ の同じガンベル分布、モンテカルロ試行回数=5000)

表－3.1 地域内の計算格子点数及び地上アメダス観測点数

地域	点数	
	GCM20	アメダス
北海道	246	155
東北	183	140
関東	101	100
北陸	110	89
中部	81	77
近畿	27	30
紀伊南部	28	19
山陰	71	68
瀬戸内	66	69
四国南部	31	32
九州	106	103

表－3.2 「年最大1日降雨量の確率分布が同じ」の仮説が棄却されない(適合する)地域内点数の割合

地域	GCM20					地上アメダス		
	格子点数	現在(1979～1998)		将来(2080～2099)		格子点数	現在(1979～1998)	
		有意水準		有意水準			有意水準	
		5%	1%	5%	1%		5%	1%
北海道	246	41.9	54.1	52.8	65.4	155	54.8	71.6
東北	183	35.5	50.3	62.3	76.5	140	60.0	74.3
関東	101	74.3	90.1	79.2	88.1	100	73.0	84.0
北陸	110	60.9	74.5	61.8	76.4	89	66.3	79.8
中部	101	35.6	47.5	41.6	54.5	77	57.1	68.8
近畿	27	100.0	100.0	100.0	100.0	30	73.3	90.0
紀伊南部	28	50.0	67.9	78.6	89.3	19	57.9	68.4
山陰	71	93.0	98.6	83.1	94.4	68	76.5	88.2
瀬戸内	66	93.9	97.0	78.8	90.9	69	63.8	79.7
四国南部	31	64.5	77.4	77.4	96.8	32	50.0	56.3
九州	106	61.3	77.4	93.4	99.1	103	64.1	84.5

	有意水準5%で棄却されない割合が70%以上、1%で80%以上のもの
	有意水準5%で60～70%、1%で70～80%のもの
	有意水準5%で60%以下、1%で70%以下のもの

表－3.3 地域の再分割

地域	領域番号	領域の定義
北海道	1	緯度 ≥ 43.5 度、経度 ≥ 142.8 度
	2	緯度 < 43.5 度、経度 ≥ 142.8 度
	3	緯度 ≥ 43.5 度、経度 < 142.8 度
	4	緯度 < 43.5 度、経度 < 142.8 度
東北	1	緯度 $\leq 1.31 \times$ 経度 -145.85 度
	2	緯度 $< 1.31 \times$ 経度 -145.85 度
中部	1	緯度 $< 1.667 \times$ 経度 -194.71 度
	2	緯度 $\geq 1.667 \times$ 経度 -194.71 度

表－3.4 再分割領域の適合割合

地域	領域番号	GCM20					地上アメダス		
		格子点数	現在(1979～1998)		将来(2080～2099)		観測点数	現在(1979～1998)	
			有意水準		有意水準			有意水準	
			5%	1%	5%	1%		5%	1%
北海道	1	50	66.0	78.0	66.0	84.0	25	72.0	84.0
	2	56	58.9	73.2	78.6	94.6	34	61.8	73.5
	3	56	71.4	83.9	83.9	89.3	38	97.4	97.4
	4	84	56.0	72.6	79.8	85.7	58	69.0	79.3
東北	1	53	62.3	79.2	67.9	83.0	43	51.2	72.1
	2	130	60.8	70.0	76.2	90.0	97	66.0	77.3
中部	1	28	57.1	78.6	82.1	82.1	26	61.5	73.1
	2	50	52.0	74.0	74.0	86.0	51	72.5	82.4

	有意水準5%で棄却されない割合が70%以上、1%で80%以上のもの
	有意水準5%で60～70%、1%で70～80%のもの
	有意水準5%で60%以下、1%で70%以下のもの

表－3.5 年最大1日降雨量発生日の数と割合(%)

地域	GCM20				地上アメダス(現在)		
	格子点数	①		②		観測点数	① ②
		現在	将来	現在	将来		
北海道	246	377	324	7.7	6.6	155	479 15.5
東北	183	320	269	8.7	7.3	140	462 16.5
関東	101	157	132	7.8	6.5	100	281 14.1
北陸	110	324	278	14.7	12.6	89	445 25.0
中部	81	159	143	9.8	8.8	77	303 19.7
近畿	27	81	87	15.0	16.1	30	158 26.3
紀伊南部	28	97	87	17.3	15.5	19	148 38.9
山陰	71	186	186	13.1	13.1	68	258 19.0
瀬戸内	66	157	152	11.9	11.5	69	230 16.7
四国南部	31	96	86	15.5	13.9	32	220 34.4
九州	106	180	205	8.5	9.7	103	358 17.4

注)① 年最大1日降雨量発生日の数

② ①/全年最大1日降雨量の数(%)

表－3.6 2点の年最大1日降雨量の母相関係数＝0が棄却されない割合(%)

地域	GCM20						地上アメダス			
	格子点数	組合せ数	現在(1979～1998)		将来(2080～2099)		観測点数	組合せ数	現在(1979～1998)	
			有意水準		有意水準				有意水準	
			5%	1%	5%	1%			5%	1%
北海道	246	30135	87.3	93.8	68.4	81.6	155	11935	75.8	89.1
東北	183	16653	79.8	88.3	52.3	71.9	140	9730	84.4	93.7
関東	101	5050	46.7	63.0	34.1	52.9	100	4950	43.3	61.9
北陸	110	5995	79.4	88.4	74.4	84.8	89	3916	76.1	88.4
中部	101	5050	29.1	39.0	33.7	44.0	77	2926	70.7	85.3
近畿	27	351	49.6	63.0	33.9	50.1	30	435	81.4	91.7
紀伊南部	28	378	26.5	40.2	24.1	40.7	19	171	59.6	72.5
山陰	71	2485	53.9	73.1	72.8	81.6	68	2278	84.1	92.4
瀬戸内	66	2145	45.5	61.8	67.8	79.7	69	2346	79.2	90.5
四国南部	31	465	24.7	38.5	37.2	49.2	32	496	64.1	78.6
九州	106	5565	63.5	77.9	69.7	78.8	103	5253	76.1	89.7

4. GCM20 の現況計算結果と観測値の比較

4. GCM20 の現況計算結果と観測値の比較

4.1. 比較データ

本章では、GCM20 の現況(1979～1998)の再現結果と同期間の地上アメダスの観測値を比較し、年最大降雨量を念頭に置きつつ、降水特性の全般について GCM20 の再現性を確認する。ここでの比較は、地域別比流量図の地域分割に基づき実施した。

GCM20 の格子点と地上アメダスの観測点の関係については、既に図－3.7(1)～(3)及び表－3.1 に示した。3 章にも述べたように、地上アメダスの観測点は概ね 20Km 程度の間隔に設置されており、基本的には GCM20 と同様の測点密度である。ただし、期間内に移動している観測点を省略して用いており、アメダス観測点密度がやや小さい地域もある。また、観測点位置は設置サイトの影響を受けるので、必ずしも格子状には配置されていない。格子状に配置しているとしても、海などの境界付近の点については、点ごとに面積代表性が異なるが、本検討ではその影響は小さいとして（つまり、観測点の代表面積を同じとして）各種集計を行っている。

以下の検討は主に日降水量を用いているが、一部時間雨量についても検討した。

4.2. 平均的な降水量

4.2.1. 日降水量の平均と標準偏差

図－4.1 には、地域内の日降水量の平均値について、GCM20 と地上アメダスの比を示す。図より、北陸、中部より東側及び近畿、瀬戸内では 1～3 割、GCM20 の降水量が大きくなっている。四国南部、九州では GCM20 がやや小さく、紀伊南部では両者はほぼ一致している。RCM20 が全体に大きく、平均的にも 5 割近く降水量が大きかったことと比較して²⁾、GCM20 はかなりよく一致しているといえよう。

図中には、日降水量の標準偏差も併せて示しているが、GCM20 の標準偏差は地上アメダスの 7～9 割となっており、全体に変動が小さくなっている。後にも示すが夏～秋期の変動が小さくなる傾向があり、年最大降水量といった極値降水量が小さくなる傾向がみられている。格子間隔を 20Km とすることで、ある程度の変動の表現はできているが、極値現象を表すには十分とはいえないようである。

なお、気温の再現性についてであるが、GCM20 の全国平均の気温は 6、7 月に観測値と概ね一致するのを除き、全体に低い値を与え、年平均では、0.7 度ほど低くなっている。特に 10、11 月及び 1、2 月での差が大きくなっている³⁾。

4.2.2. 月降水量の平均と標準偏差

図－4.2 に月降水量の平均と標準偏差の GCM20 と地上アメダスの比を示す。図は、関東と北陸の場合を例示したもので、関東は月による変化が比較的大きい例、北陸は比較的小さい例である。なお、標準偏差で示した（全データ）は月降水量全データの標準偏差を、（地点）は地点ごとに求めた月降水量平均値の標準偏差を表している。

月降水量の平均値の変化をみると、月による変化の大きさは異なるが、両例とも概ね下に凸な形状となっていることが分かる。すなわち、冬期を中心に大きくなる傾向がある。図－4.3 は、月降水量の平均値の GCM20/地上アメダス > 1、< 1 となる地域数を月別に示したもので、> 1 の地域数を正值にて、< 1 のそれを負値にて表している。図より、GCM20 の計算値は、11～4 月では地域によらずアメダスより大きい値を、9、10 月では小さい値を与えていることが分かる。なお、多くの地域は関東と同様に冬期と他の期間の比の差が大きく、北陸のように比較的小さい地域は山陰がある程度である。

標準偏差についても、平均値と同様に全体として下に凸な傾向があるが、日降水量の標準偏差の比が小さいことから推察されるように、標準偏差の比そのものは平均値の比より小さい傾向にある。標準偏差（全データ）について、**図－4.3**と同様の図を作成したのが**図－4.4**である。図より、12～3月はGCM20の変動も観測値より大きくなっており、変動の減少が洪水期を中心に生じていることが分かる。こうした傾向は、GCM20の再現精度が、治水上問題となるような極値降水量を検討するには十分でないことを示唆している。将来の計算結果の評価は、こうした再現性の傾向を確認した上で行う必要がある。

図－4.5は月降水量標準偏差のGCM20/地上アメダスについて、標準偏差（全データ）と標準偏差（地点）の比を示したものであるが、平均や標準偏差の場合と同様に、全体に下に凸の曲線となっていることが分かる。両者の比が1より大きいことは、地点のばらつきにおけるGCM20/地上アメダスより、年のばらつきにおけるGCM20/地上アメダスが大きいことを示唆していると考えられる。従って、月に対し平均値や標準偏差（全データ）と同様の变化傾向を示すことは、実測値に対し、降水量の平均値、標準偏差（全データ）が大きい冬期等では、年による変動が大きいのに対し、小さい夏期等には年による変動が小さく、地点による変動と同程度、若しくは小さい変動しか生じていないことを意味している。

4.2.3. 降水量の頻度分布

図－4.6に日降水量の頻度分布例を示す。ただし、図では、全データ数で除した発生割合として示してある。また、降水量区分の最小単位を0.5mmとしているが、これは地上アメダスデータが整数値で与えられているこのことを考慮したものである（計算結果は多くの有効数字数にて出力されている）。

図示した例は、80.5mm以上の発生割合が比較的大きい中部地域のものであるが、GCM20での発生割合は地上アメダスでのそれと比べ、0.5mm未満では小さく、0.5mm以上～40.5mm未満では大きく、40.5mm以上では小さくなっている。0.5mm未満及びある日降水量以上で小さく、その間で大きくなるという傾向は他の地域でも同様であり、ここで、GCM20とアメダスの大小関係のみ整理したのが**図－4.7**である。プラスは地上アメダスに対しGCM20の発生割合が大きい地域数、マイナスは小さい地域数を表しており、図より、40.5mm以上の日降水量では殆どの地域で、100.5mm以上の日降水量では全ての地域でGCM20の発生割合より地上アメダスの発生割合が大きくなっていることが分かる。すなわち、GCM20の計算では無降雨及び豪雨の発生割合が小さくなり、その分、中小降雨の割合が大きくなっている。

以上は、全データを対象としたものである。これを月別にみても基本的には同様の傾向である。ただし、GCM20における冬期の40.5～150.5mmといった日降水量の発生割合が大きくなっている。これは、何れの地域でも同様であり、GCM20の冬期の降水量が大きいことに原因があると思われる。

4.3. 年最大降雨量

図－4.8に年最大降雨量平均値のGCM20/地上アメダスを、**図－4.9**に標準偏差のGCM20/地上アメダスを示す。図には1～3日降雨量を示してあるが、日数による変化は比較的小さく、大きくて0.1程度である。また、1日に比較して、2、3日の方がやや大きい傾向がある。

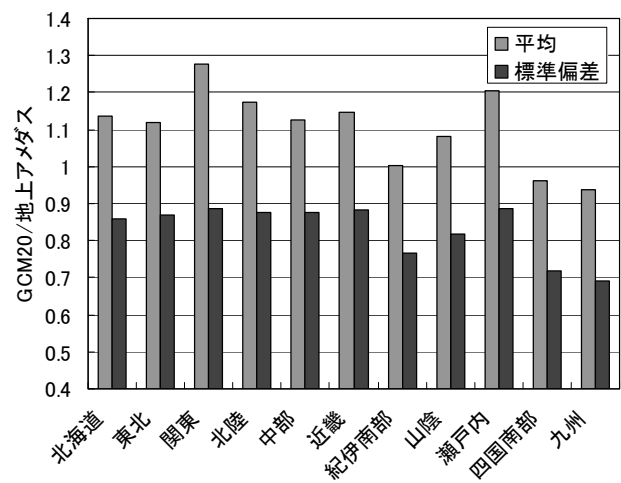
4. 2の結果からも予想されるように、GCM20の年最大降雨量は平均値、標準偏差とも観測値より小さい傾向がある。平均値のGCM20/地上アメダスは、紀伊南部、山陰、四国南部、九州の西日本の各地域において小さく、0.65～0.75、他の地域で0.75～0.85の値となっている。一方、標準偏差は

地域によるばらつきが大きくなっている。北海道や紀伊南部の GCM20/地上アメダスが 0.5~0.6 程度と小さいのに対し、東北、近畿、紀伊南部、瀬戸内では、0.75~0.85 の高い値となっている。

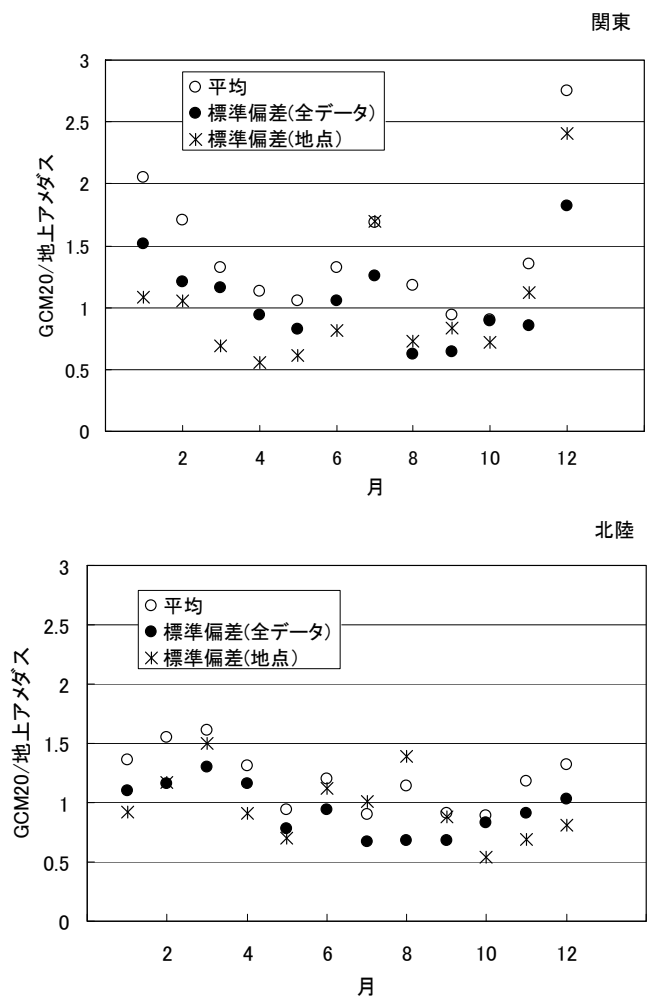
図-4.10 は年最大 1 時間降雨量の平均値及び標準偏差の GCM20/地上アメダスを示したものである。GCM20/地上アメダスは日降雨量の場合より小さくなっており、全地域で 0.6 以下、北陸、山陰、四国南部、九州では 5 割以下となっている。一方、全体に平均値の比よりやや大きくなる傾向があるが、日降水量の場合と比較するとやはり小さめの値となっている。

GCM20 は 20Km 格子の高解像モデルであるが、20Km 格子でも年最大降雨量といった豪雨の再現は十分でなく、平均化の影響が大きいようである。その影響は短時間であるほど、また、今回は検討していないが、面積が小さいほど顕著になることが予想される。降雨時間に対する影響は、2 日~3 日降雨ではほとんど変わっていないが、365 日では、地上アメダスと同程度かやや大きめの値を与えているので、2~3 日降雨以上でも時間に対し徐々に影響が小さくなっていることが推察される。

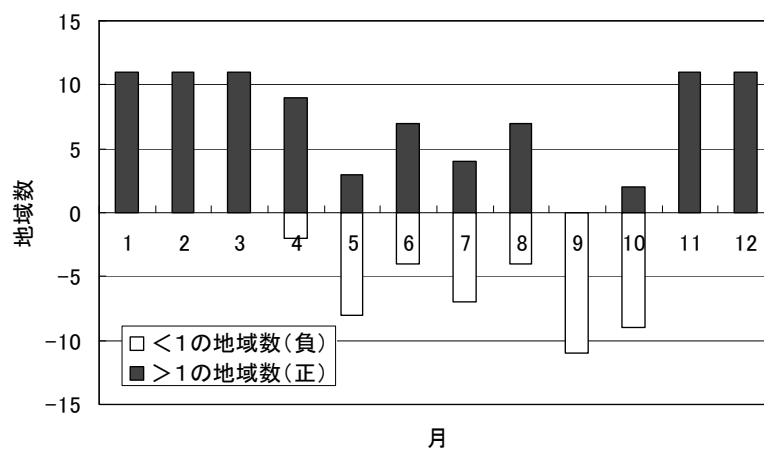
いずれにしても、河川の計画で問題となる降雨時間スケールでは、GCM20 の再現性は十分でないが、1 日降雨量以上については、比較的高い割合が得られており、将来と現在の比をとることで、将来の降雨変化の影響がある程度把握できるものとする。一方、1 時間雨量については、精度上問題があり、以下では参考として位置付けたい。



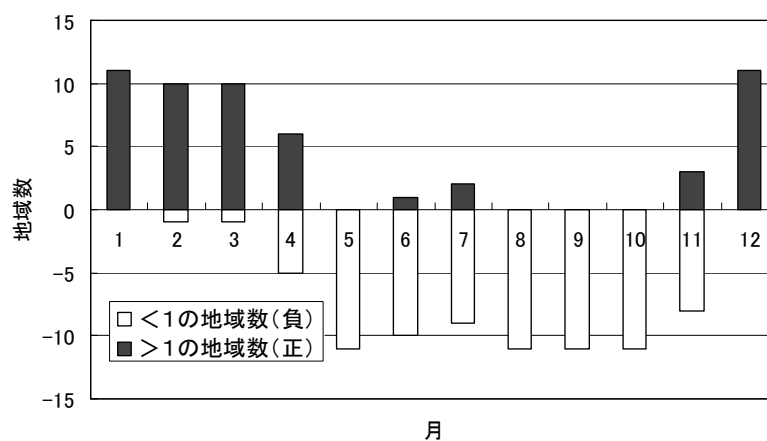
図ー4.1 日降水量の平均と標準偏差の地上 GCM20/地上アメダス



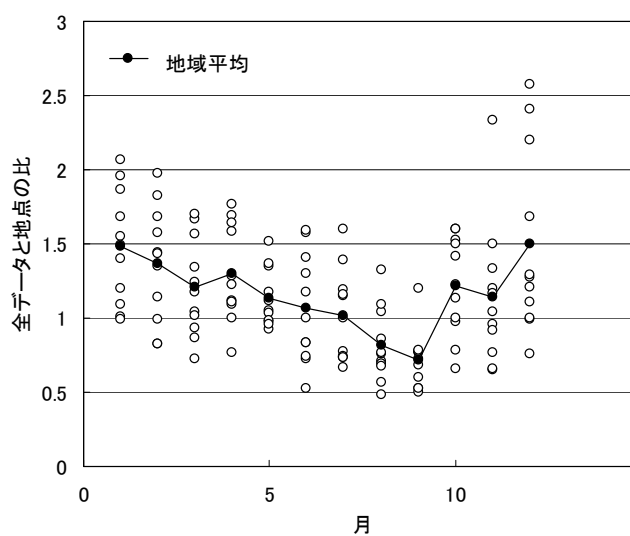
図ー4.2 月降水量の平均と標準偏差の GCM20/アメダス



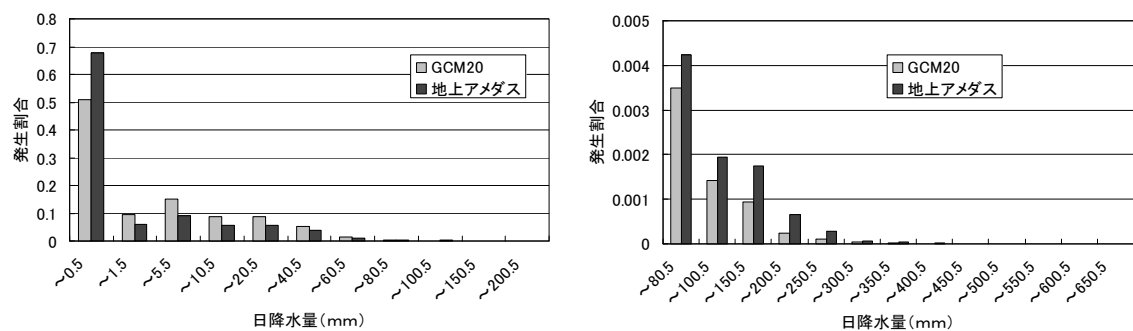
図－4.3 月降水量平均値が GCM20/地上アメダス > 1 (< 1) の地域数



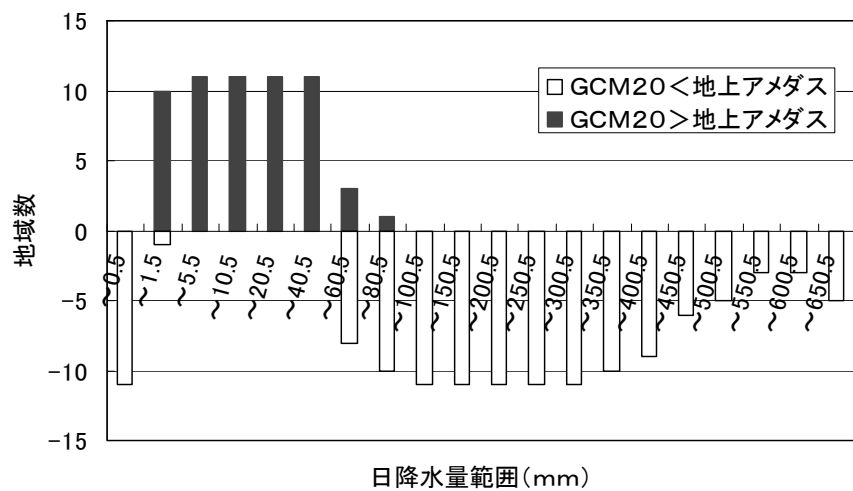
図－4.4 月降水量標準偏差（全データ）が GCM20/地上アメダス > 1 (< 1) の地域数



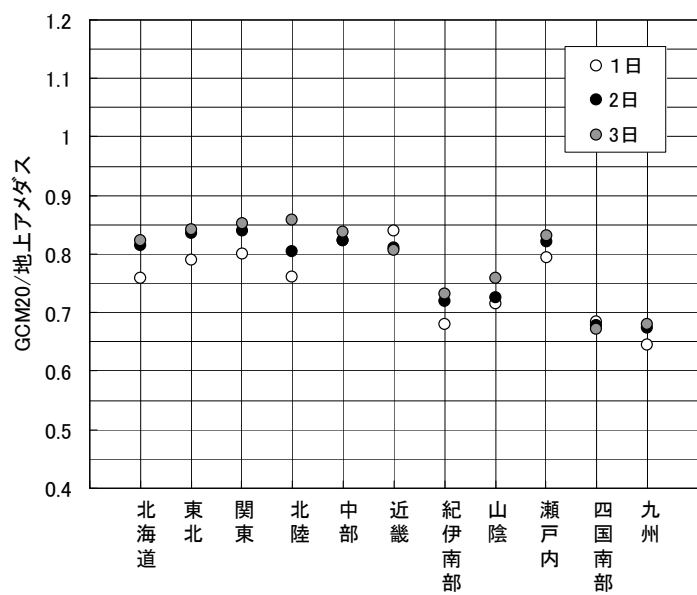
図－4.5 月降水量標準偏差の GCM20/地上アメダスにおける（全データ）と（地点）の比



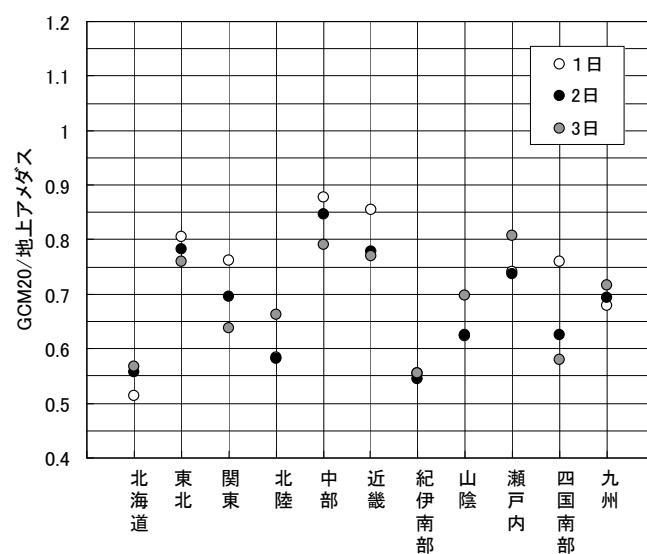
図－4.6 日降水量の発生割合例（関東）



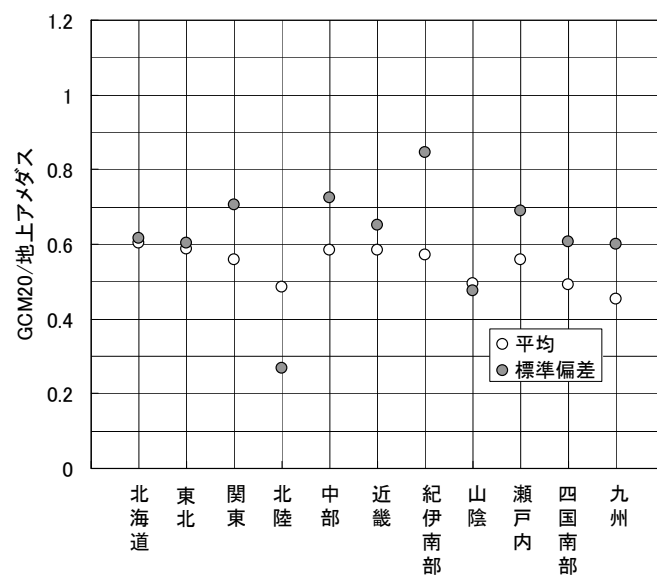
図－4.7 日降水量と GCM20 の日降水量発生割合がアメダスより大きい(小さい)地域数の関係



図－4.8 年最大 i 日降雨量平均値の GCM20/地上アメダス



図－4.9 年最大 i 日降雨量標準偏差の GCM20/地上アメダス



図－4.10 年最大 1 時間降雨量平均値及び標準偏差の GCM20/地上アメダス

5. 21 世紀末（100 年後）の年最大降雨量の変化

5. 21 世紀末（100 年後）の年最大降雨量の変化

5.1. 検討ケース

本章では、本検討の最終的な目標である 21 世紀末（100 年後）の年最大降雨量の推定を行う。検討は、GCM20 の 1 日～3 日の年最大降雨量を中心に実施したが、他のモデルや時間スケールについても実施しており、検討ケースの一覧を表-5.1 に示す。

表中、CRCM20 は、既往 RCM20 の大気海洋結合モデル化を図られるとともに、境界処理方法の改良などが行われたもので、最近計算出力されたモデルである。最新の計算結果ということ、また、排出効果ガスを低レベルで抑える B1 シナリオの計算がされていることから検討対象としたが、気象温暖化予測情報第 7 巻⁶⁾によれば、寒侯期（12 月～3 月）以外の再現性に問題があるとされている。それ故、気候温暖化予測情報第 7 巻では寒侯期以外の解析結果については示されていない。このことを踏まえ、本報告では他のモデルとはやや位置付けを変え、参考として掲載する。

5.2. GCM20（A1Bシナリオ）の年最大 1～3 日降雨量

5.2.1. 地域ごとの確率分布とばらつき

河道計画の対象とする再現期間の長い洪水に対する影響を知るためには、年最大降雨量の確率分布の変化を検討する必要がある。そのためには多くのデータが必要であり、3 章で検討したように、本報告では、地域内の全ての年最大降雨量を用いて将来、現在の確率分布を作成し、両者を比較検討する。

図-5.1 に年最大 1 日雨量の現在と将来の確率分布例を示す。分布は、現在、将来それぞれについて地域内平均値で無次元化しており、図-3.12 と同じ例を示した。図より、地域の確率分布は、図-3.12 にみられる 50 パーセンタイル値の変化を反映させたものとなっていることが分かる。すなわち、関東においては、非超過確率の大きくなるに従って（図-3.12 で順位が上位になるに従って）、現在値が将来値より大きくなる傾向（図-3.12 の将来/現在が減少傾向）があり、紀伊南部は、逆に将来値が急激に大きくなる傾向（将来/現在が急激に増加する傾向）がみられている。

こうした、現在と将来の確率分布の相対的な関係は、地域ごとに異なり、様々な傾向がみられるが、例えば北から南に向かってある一定の傾向をもつというような全国的な傾向は明確でなく、一見、地域ごとにランダムに出現しているように見える。図-3.13 に示したように、地域内の全データを用いたとしても、実際の地域内点数確率分布にはばらつきが残存する。地域別比流量図の地域分割での地域内格子点数は 27～246 であり、格子点の独立性を考慮すると実質的な点数は更に小さいと考えられる。ばらつきは、特に非超過確率が大きい部分で大きく、非超過確率の大きい部分では平均値±0.1 以上の大きいばらつきが生じている可能性がある。つまり、図-5.1 にみられる現在、将来の確率分布の相互関係がばらつきにより生じている可能性がある。

5.2.2. 平均化した現在と将来の確率分布

以上の考察を踏まえ、地域ごとに生じる分布のばらつきの更なる低減を図るため、現在、将来のそれぞれについて、地域ごとの確率分布を平均して求めたのが図-5.2 である。非超過確率が 0、1 に近い極端な部分ではばらつきが大きくなることから、図では非超過確率 0.01～0.99 間について示した。また、図は、地域別比流量図の地域分割によるものである。

図より 1～3 日の年最大降雨量について、現在と将来の確率分布がほぼ一致することが分かる。このことの意味を以下に確認する。

全国平均の確率分布は次式で表わされる。

$$\hat{f}_{ave}(\hat{r}/\hat{r}_m) = \sum_i \hat{f}_i(\hat{r}/\hat{r}_m)/n = \sum_i f(r/r_m)/n + \sum_i \hat{e}_i(\hat{r}/\hat{r}_m)/n \quad (5.1)$$

ここに、 f_{ave} ：全国平均の確率分布、 f_i ：地域*i*の確率分布、 e_i ：地域*i*の確率分布のばらつき成分、 r ：年最大降雨量、 r_m ：年最大降雨量の地域平均値、 n ：地域数であり、 $\wedge$ はシミュレーション結果による標本でのものを表している。平均化による影響低減を期待したのは、式(5.1)の右辺最終項であり、平均化により、より零に近づくものと考えられる。

実際に平均化した結果、現在と将来の分布によい一致をみた訳であるが、これは、平均化により、現在、将来の右辺第2項がほぼ零となるとともに、現在及び将来の平均化した確率分布がほぼ等しいことを意味している。平均化した確率分布が等しいことは、将来と現在の地域ごとの確率分布が等しいことと完全には一致しない。つまり、将来と現在の地域ごとの確率分布のずれが互いに打ち消し合雨ることによっても生じ得るが、こうした相殺が行われる必然性はない。地域ごとについても将来と現在の確率分布が等しく、結果として平均化した確率分布が等しくなったというのが素直であり、適当と考える。平均値で無地元化した確率分布が等しい場合、将来と現在の降雨量の変化は、非超過確率によらず両者の地域内平均値の比で表されることを意味している。

図-5.3は、3章の検討結果に基づき、北海道、東北、中部の地域分割を細分化した場合について、全国平均をとったものであるが、図-5.2と同様に将来と現在の確率分布のよい一致をみている。図-5.2との差は微小であるが、非超過確率の大きい部分では、分割を細分化させたものの一致がよいようであり、細分化の効果が若干ながらみられている。

図-5.4は、得られた確率分布とガンベル分布を比較したものである。GCM20の結果は、全国平均の現在、将来の平均分布を用いた。非超過確率が1に近い部分のガンベル分布の値がやや小さい傾向があるが、両者は比較的良好に一致しており、GCM20の年最大降雨量が水文分野で一般的な分布として知られているガンベル分布にて表し得ることが確認される。

図-5.5、5.6は参考のため作成したもので、図-5.5は全国の全データを平等のものとして順に並べ非超過確率との関係を求め現在と将来の比較を行ったもの、図-5.6は各点の20年のデータから得られる確率分布の全国平均を求め比較したもので、何れも年最大1日降雨量に関するものである。図より、いずれも現在、将来の分布が比較的良好に一致しており、平均化の方法によらず、現在、将来の確率分布が変化しないとの結果を得ることができるようである。ただし、詳細を見ると、地域別の平均値の場合と比較して、何れの場合も分布のずれが若干大きくなっているようであり、地域別に平均化する方法の妥当性を確認することができる。

5.2.3. 現在と将来の確率分布の順位和検定

前節において、地域内平均値で無地元化した現在と将来の確率分布がほぼ一致すると推察された。本節では、現在と将来の確率分布が同じという帰無仮説のもとで順位和検定を行い、前節の結果を確認する。検定方法は3.4.3に示したと同様である。

順位和検定の結果を表-5.2に示す。表には、地域別比流量図の地域分割及び細分化した地域分割の両者の結果を示してあり、帰無仮説が棄却されなかった地域を○、棄却された地域を×で表している。

まず、地域別比流量図の場合をみると、多くの地域では帰無仮説は棄却されておらず、全体として現在と将来の確率分布は一致すると考えてよいことが確認できる。帰無仮説が棄却される地域は、降雨期間によりやや出入りがあるが、複数の降雨期間で棄却されているのは北海道、東北であり、特に北海道については、有意水準1%においても全ての降雨期間で棄却されている。北海道、東北では現

在と将来の確率分布が異なっている可能性があるが、これら地域は3章で検討した細分化が必要な地域でもある。そこで、細分化した地域での検定結果をみると、隣接する北海道4と東北2以外は、帰無仮説が棄却されておらず、棄却エリアがかなり小さくなることが確認できる。

ここで、北海道4と東北2での棄却であるが、**図-5.7**に両地域の確率分布を示す。図示したのは年最大1日降雨量であるが、2、3日降雨量の場合も同様であり、**図-5.2、5.3**の全国平均と比較して、現在の分布は非超過率の高い領域（例えば非超過確率0.9以上）で全国平均より小さく、将来の分布は大きくなる傾向がみられている。問題は、温暖化の影響の視点から考えてこうした傾向がこの地域の傾向と考えるべきか否かにある。筆者らは、こうした狭い地域で見られる傾向は、地域特有の結果と見るべきではないと考えており、例えば、今回のGCM20の計算においてもアンサンブル計算を実施すれば明瞭さがなくなってくるものと推察している。これは、温暖化の降雨に対する影響は、より広い領域での傾向として現れるであろうとの判断によるものであるが、アンサンブル計算の結果等、他の情報が限られている現状では十分に議論することができない。今後の課題であるが、例えば後に示すRCM20の結果ではこうした傾向は見られていないことはその傍証となろう。

以上の通り、順位和検定の結果からも現在と将来の年最大1～3日降雨量の確率分布は変化しないとの結果は妥当なものと判断する。

なお、当然のことながら、地域ごとの現在と将来の確率分布が変化しないことは、各地域の確率分布が等しいことを意味しないので注意が必要である。実際、全国平均の確率分布を用いて各地域の分布との順位和検定を行っても、多くの地域で分布の同一性が棄却されている。

5.2.4. 将来と現在の平均値の比

1) 平均値の比のばらつき

先にも述べたように、現在と将来の無地元化した確率分布が変化しないことは、同じ非超過確率の将来と現在の最大降雨量の比が、将来と現在の地域内最大降雨量の平均値の比で表されることを示している。

ここで、計算結果から求められる各地域の平均値は、統計上は標本の平均値であり、母集団のそれではない。それ故、平均値に誤差が含まれおり、誤差の範囲を検討しておく必要がある。

平均値の誤差であるが、将来と現在の関係で求めようとしているのは、両者の地域内平均値の比であり、ここでは、比の誤差として検討する。今、現在、将来の母集団の真の平均値をそれぞれ μ_p 、 μ_F とし、計算での平均値を μ_p' 、 μ_F' とし、 $\mu_p' = a\mu_p$ 、 $\mu_F' = b\mu_F$ とおくと、

$$\mu_F' / \mu_p' = k(\mu_F / \mu_p), \quad k = b/a \quad (5.2)$$

として表すことができ、比の誤差を検討する問題は k のばらつきを検討する問題であることが分かる。

k のばらつきは、確率分布が分かれば、モンテカルロ法により求めることができる。すなわち、データ数分の値を発生させ、現在、将来のそれぞれの平均値を求めて比をとり、これを繰り返すことで求めることができる。

図-5.8は全国平均の現在、将来の分布の平均値（地域別比流量図の分割、年最大1日降雨量）を用いて算定した k の95%信頼区間を示したもので、地点数との関係を示した。モンテカルロ試行は9000回である。図より、地域点数が少ない場合には平均値のばらつきが非常に大きく、1点のみでは数十%に達することが分かる。地点数とともにばらつきの範囲は急速に小さくなるが、数%程度の範囲に収めるためには100点程度の地点数が必要である。3章にも述べたが、地域内の確率分布が同様な範囲で、できるだけ多くの点数を用いる方向での検討が必要ながことが再確認されよう。なお、当然のことながら、 k の平均値は1である。

2) 地点数の補正と地域別の将来と現在の平均値の比

地域別の将来、現在の平均値の比のばらつきについて、ここでは、地域毎に得られる現在、将来の平均の無地元化した確率分布を真の分布と仮定し、9000回のモンテカルト試行により95%の信頼区間(2.5パーセンタイル及び97.5パーセンタイル)を求めるものとした。ここで、地点数であるが、3章に検討したように、地域内の各点の年最大降雨量は必ずしも独立していない。このため独立したものとして算定されるばらつきは小さい値を与えることが推察され、何らかの補正が必要である。

独立性の影響を評価する方法については、現在のところ確立した方法はないようである。ここでは、3章で実施したと同様に、スピアマンの母相関係数の有意性検定により母相関係数が零の帰無仮説が棄却されない組み合わせ数を求め、全組み合わせ数に対する割合を地点数に掛けて補正するものとした。組み合わせの割合は現在、将来それぞれに対し算定されるので、両者の平均値を用いた。また、検定における有意水準は5%とした。

検討結果を図-5.9~5.11及び表-5.3~5.5に示す。ただし、図、表には将来と現在の平均の比(モデル計算結果を母集団の真値と仮定する)を示すとともに、平均値に k を掛けた95%の信頼区間として提示した。1~3日の降雨期間による差は、それほど大きくはなく、平均値は±5%程度の範囲に収まっている。また、地域的な傾向も特にみられていない。

地域別比流量図の分割では、東日本で将来と現在の比が大きく西に行くに従って小さくなる傾向がみられており、2.5パーセンタイル、平均、97.5パーセンタイル値は、それぞれ0.96~1.21、1.03~1.23、1.07~1.25の範囲にある。全体として将来の最大降雨量が大きくなる傾向にあることが分かる。

また、細分化した地域のうち、中部については、分割された地域間の差は小さく、地域別比流量図の場合と比較して、地点数が少なくなることによるばらつき範囲の差が見られる程度である。一方、北海道、東北では分割地域間の差がみられており、北海道では2.5パーセンタイル、平均、97.5パーセンタイル値が、それぞれ1.05~1.29、1.10~1.34、1.15~1.39の範囲、東北では1.03~1.22、1.08~1.29、1.14~1.37の範囲と地域間での差が大きくなっており、北海道西部から東北北部に掛けて比が大きくなる傾向がみられている。これら比の大きい地域では、前節で検討したように、確率分布が同じという帰無仮説についても棄却された地域であり、先にも述べたように気候変動の地域特性としての妥当性の問題が残されている。今後の気候変動モデルの精度向上や計算ケースの蓄積が期待されるが、これら地域の値をそのまま用いるとして、100年後の21世紀末の将来の降雨量は、平均で現在の1.3倍程度、ばらつきを考慮した最大でも1.4倍程度が最大と考えてよいであろう(もちろんA1Bシナリオの場合である)。

5.3. GCM20 (A1Bシナリオ) の年最大1時間降雨量

ここでは5.2の日単位の降雨量に引き続きGCM20の年最大1時間降雨量について、5.2と同様の解析を行った結果を示す。4章に示したとおり、1時間降雨量については、実際の降雨量の50~60%程度の再現しかなされておらず、再現性に問題があると考えている。ここでの検討は参考として位置づけるものとする。

図-5.12に現在、将来の地域内確率分布の全国平均の比較を示す。図より、年最大1~3日降雨量の場合と異なり、非超過確率の大きい領域において、同じ非超過確率での将来値がやや大きくなる傾向を示している。非超過確率0.9~0.99間の将来と現在の比は概ね一定で、地域別比流量図の分割では10%程度、細分化した地域分割では5%程度であり、短期の降雨量では、再現期間の長い将来の降雨量が、平均的な比より大きくなる可能性がある。

表－5.6 は、現在と将来の「地域平均値で無次元化した確率分布が同じ」の帰無仮説について順位和検定を行った結果であるが、1～3 日降雨量の場合と比較して棄却される地域数が多くなっている。全体としては、棄却されない地域が半数以上ではあるが、**図－5.12** に見られる傾向と符合しており、分布がずれている可能性がより高くなっていることを示すものと思われる。なお、棄却される地域については、東北、北海道 4 など 1～3 日降雨量と同様の地域もあるが必ずしも一致していない。

図－5.13、表－5.7 には将来と現在の平均値の比を示す。1～3 日降雨量と比較して地域的なばらつきが大きくなっているが、全体的には大きくなる傾向が見られており、平均的に 10%以上、地域によっては 30%近く大きくなっている。このことは、流量ピークに対し短時間降雨量が支配的な小流域でのリスクが増大する可能性があることを示している。また、年最大 1 時間降雨量と年最大 1～3 日降雨量が同時生起している場合には、将来の降雨波形がより先鋭なものとなることを意味する。ここで、年最大 1 日降雨量の発生日と年最大 1 時間降雨量の発生日が同じである割合を調べると、全最大降雨量については、現在で 34%、将来で 36%、20 年最大降雨量については現在で 55%、将来で 62%について一致がみられている。より大きい降雨で一致する割合が大きくなっており、降雨波形が変化する可能性が無視できないように思われる。

今回はあくまで参考資料としたが、以上示されるように、将来の短時間降雨は、日単位の降雨よりより大きな割合で大きくなる可能性がある。また、再現期間の長い降雨ほど大きくなる可能性もあり、今後、気候モデルの精度向上を見極め、適切に評価していく必要がある。

5.4. RCM20（A2 シナリオ）の年最大 1 日降雨量

ここでは、他のモデルでの例として A2 シナリオを対象に実施された RCM20 の年最大 1 日降雨量について、GCM20 と同様の分析を行う。

図－5.14 に現在と将来の地域内確率分布の全国平均の比較を、また、**表－5.8** には現在と将来の「地域平均値で無次元化した確率分布が同じ」の帰無仮説に関する順位和検定結果を示す。GCM20 の場合と同様に、現在、将来の確率分布は概ね一致しており、また、順位和検定の結果でも北海道 4 の有意水準 5% 及び北陸を除き帰無仮説は棄却されていない。異なるモデル、排出シナリオである RCM20 においても、GCM20 と同様に現在、将来の確率分布が変わらないとの結果が確認される。

図－5.15、表－5.9 には将来と現在の平均値の比を示す。GCM20 と比較して全体的にやや大きい比となっており、排出シナリオの違いによるものと思われる。ただし、その差はそれほど大きくはない。

2.5 パーセンタイル、平均、97.5 パーセンタイル値は、地域別比流量図の分割でそれぞれ 0.89～1.21、1.0～1.25、1.11～1.40 の範囲にあり、細分化した場合もこの範囲に含まれる。細分化による地域間の差は GCM20 ほど大きくないようである。地域的には、北陸や山陰、瀬戸内での比が大きくなっており、GCM20 にみられたような東から西に向かって小さくなるといった傾向は必ずしも見られていない。この違いが排出シナリオによるものかモデルの違いによるものかは不明であるが、地域的な傾向を明確にするためには、より多くのモデルでの結果が必要になると考える。

なお、GCM20 では、各地域での値を包絡する値として平均で現在の 1.3 倍程度、ばらつきを考慮して 1.4 倍程度であるとしたが、RCM20 においてもこの値は変わらない。

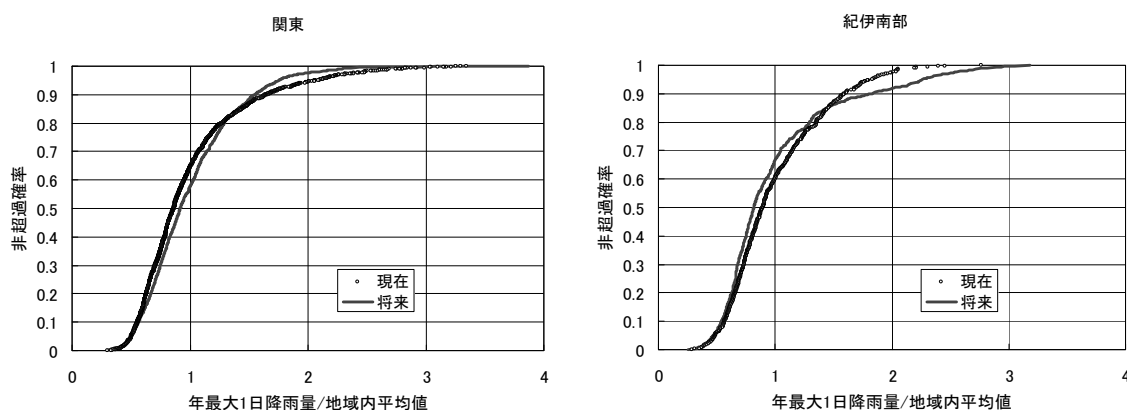
5.5. CRCM20（A1B、B1 シナリオ）の年最大 1 日降雨量

5. 1 にも述べたように、CRCM20 については、最大降雨量が問題となる暖候期の再現性に問題が

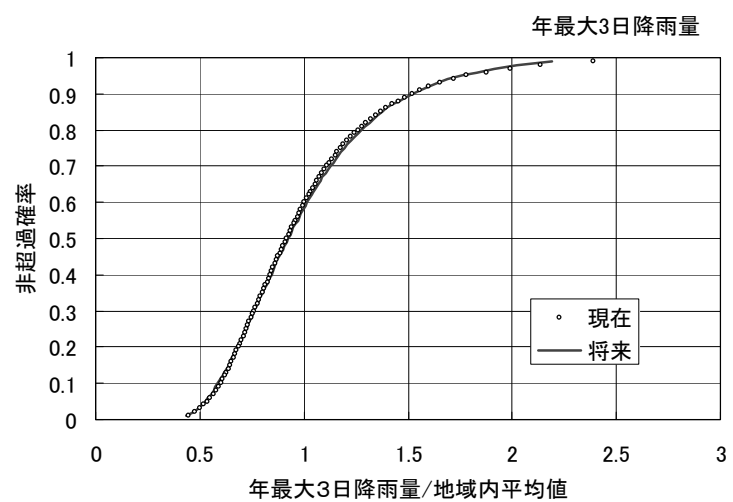
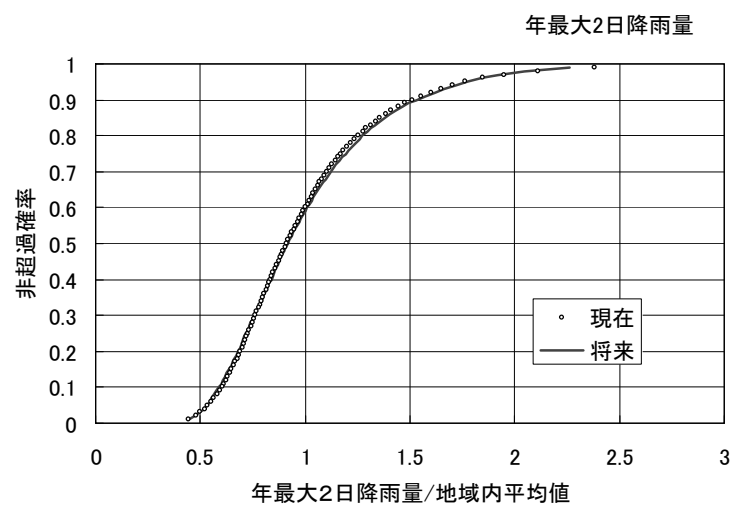
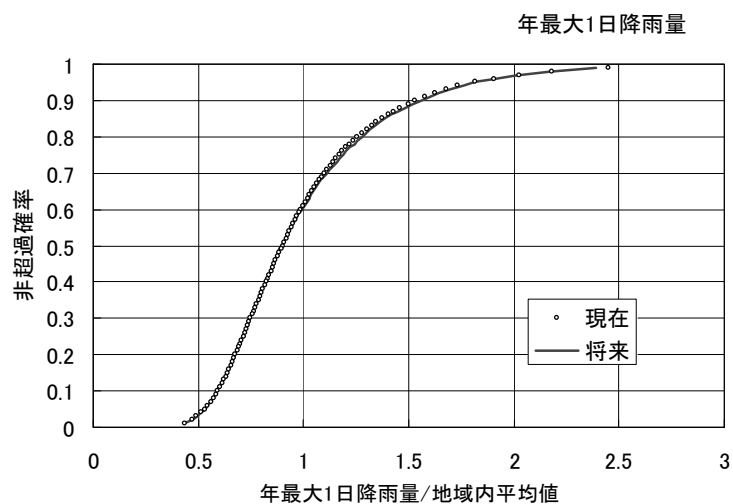
あるとされており、ここでは、参考として地域別比流量図の地域分割について、将来、現在の確率分布の順位和検定結果及び将来、現在の年最大1日降雨量の比の平均を示すに留める。

表－5.9 に順位和検定結果を示す。何れの排出シナリオについてもほとんどの地域で棄却されておらず、他のモデルと同様に現在と将来の確率分布に変化はないと考えてよいようである。A1Bについては、RCM20と同じ北陸での棄却となっているが、モデルの類似性によるものかもしれない。

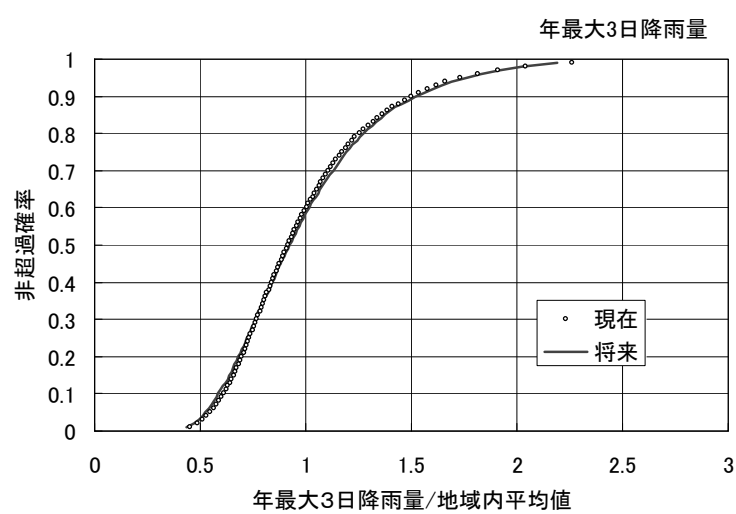
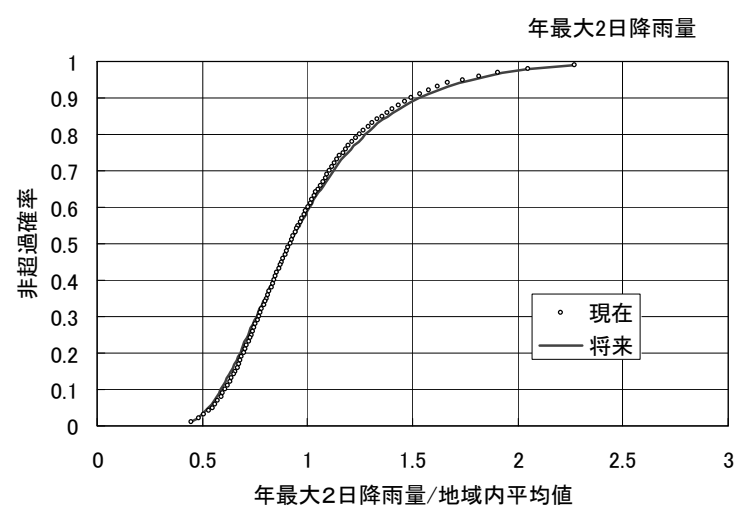
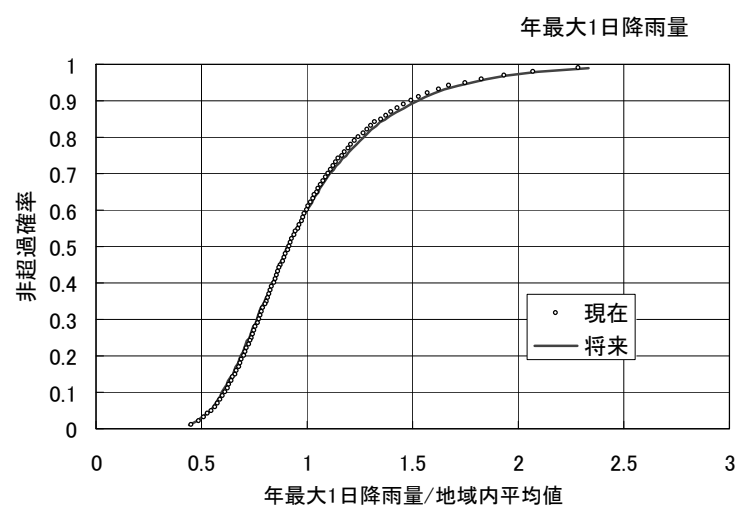
図－5.16、表－5.11 には将来と現在の年最大1日降雨量の比について、地域内平均値を示す。A1Bシナリオについてみると、GCM20と比較して全体に小さい傾向があり、現在に対し大きくても20%強の増加となっている。また、西日本では現在より減少する地域もみられている。排出ガス量が少ないB1シナリオでは、更に小さく、大きくて10%程度の増加となっている。B1シナリオでは、九州などA1Bシナリオより大きくなっている地域が一部みられるが、全体としては、A1Bシナリオの場合と比較して10%程度低減する結果となっており、排出抑制により、降雨量増加を10%程度低減できる可能性があることが示されている。



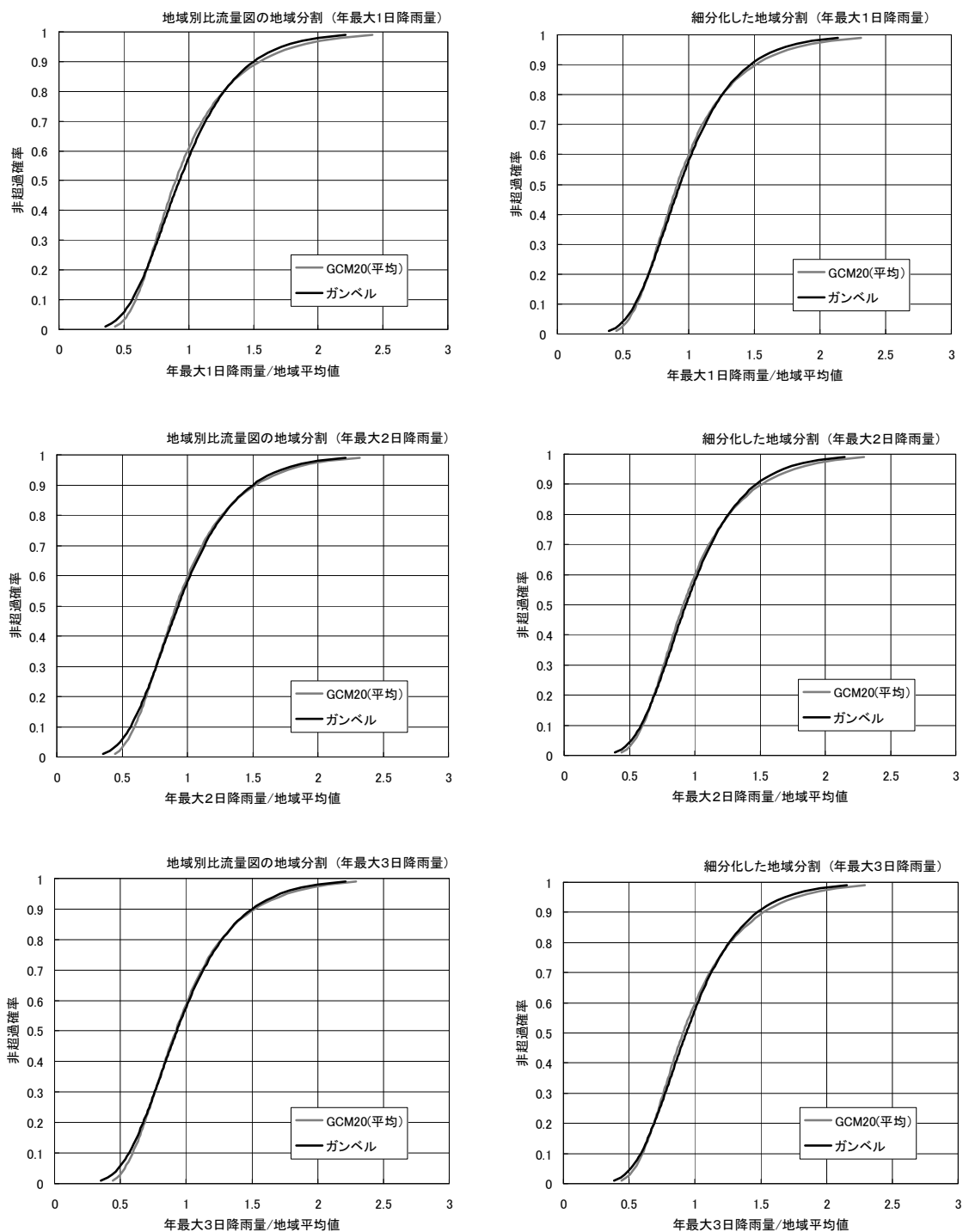
図－5.1 地域内全データを用いた確率分布例（地域内平均値で無次元化。図－3.12 に対応(GCM20)）



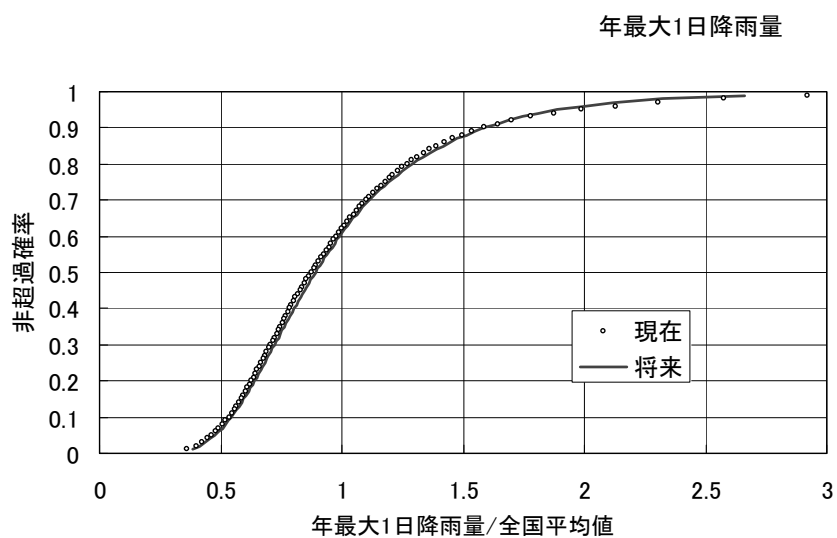
図－5.2 現在、将来の地域内確率分布の全国平均（年最大1～3日降雨量(GCM20)、地域別比流量図の地域分割）



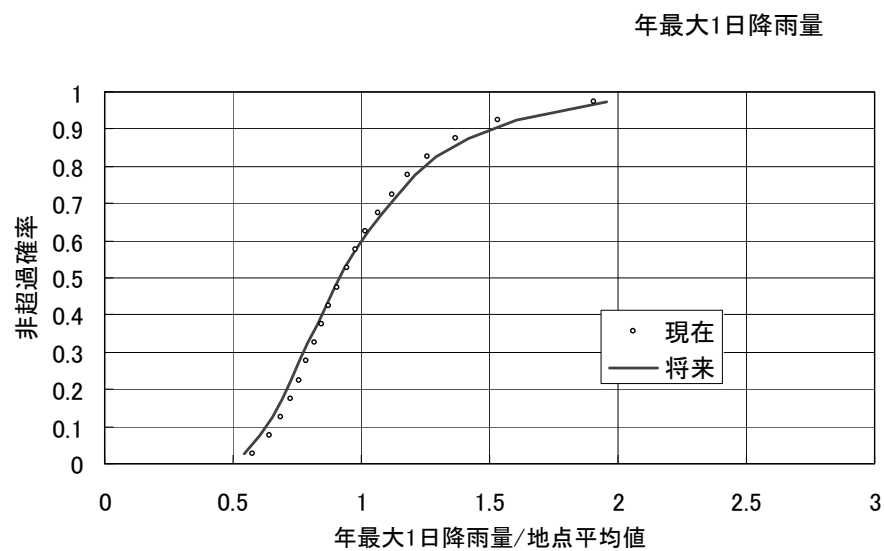
図－5.3 現在、将来の地域内確率分布の全国平均（年最大1～3日降雨量(GCM20)、細分化した地域分割）



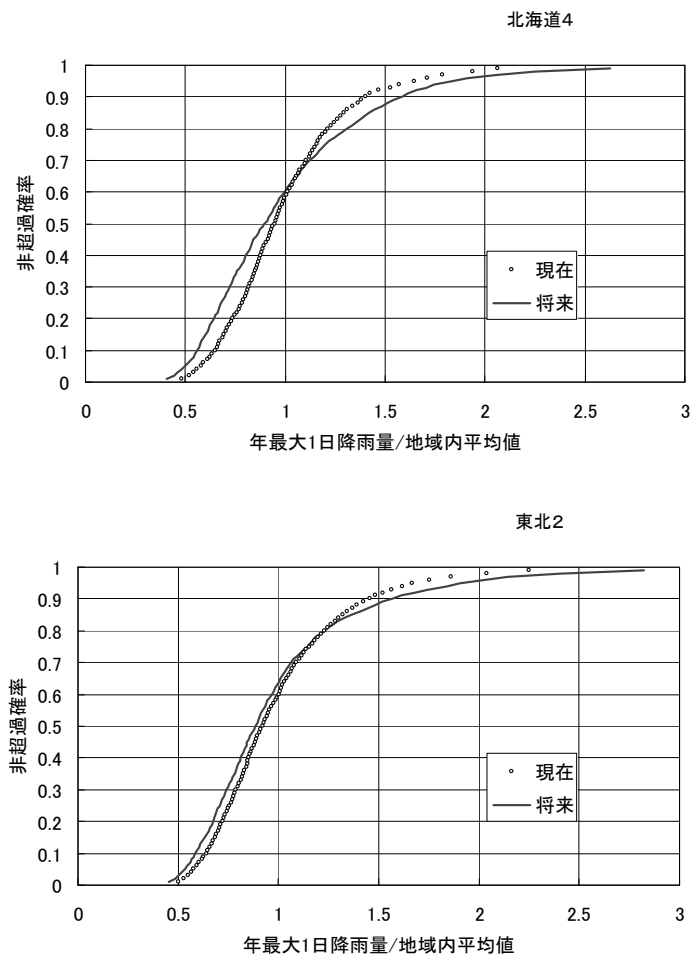
図－5.4 現在、将来の平均分布とガンベル分布の比較（年最大1～3日降雨量（GCM20））



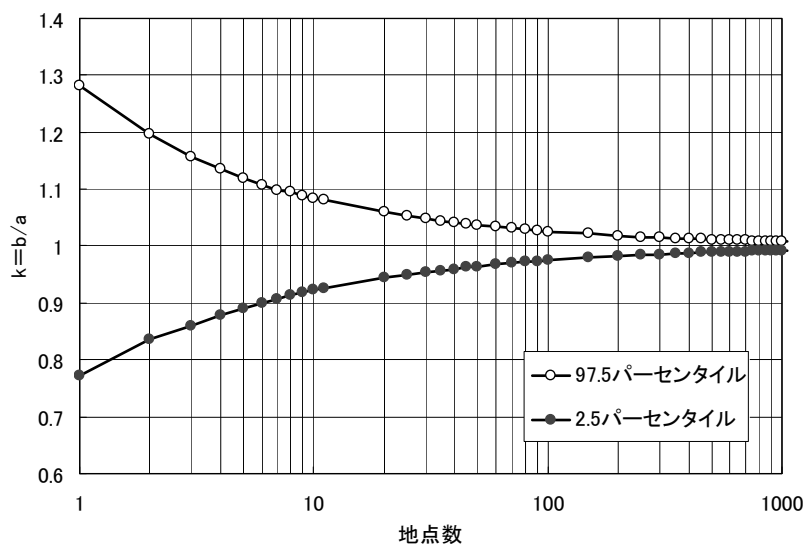
図－5.5 全国データから作成した確率分布の現在と将来の比較（GCM20、年最大1日降雨量）



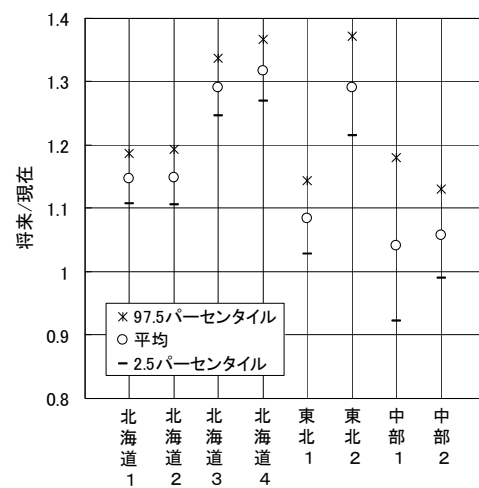
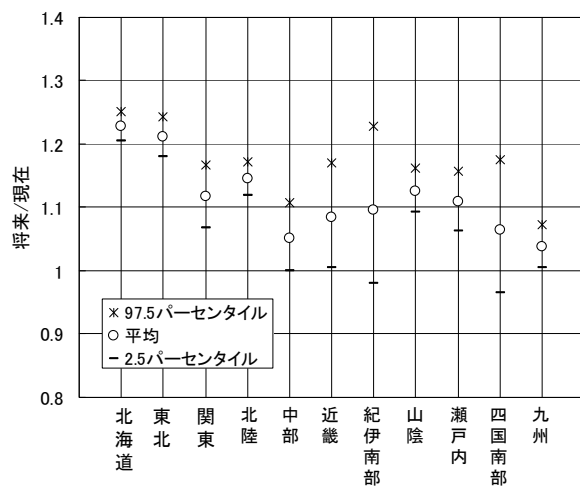
図－5.6 地点の確率分布の全国平均による現在と将来の比較（GCM20、年最大1日降雨量）



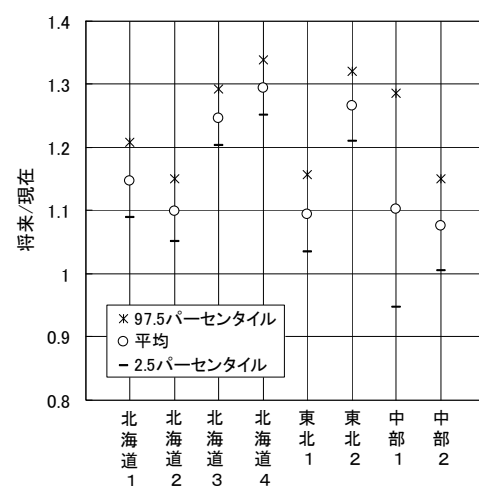
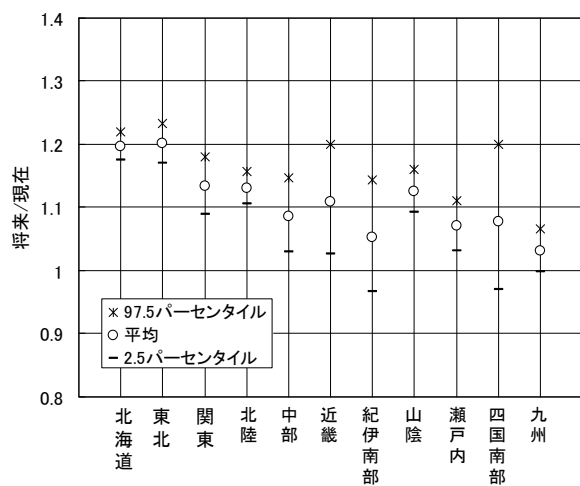
図－5.7 北海道4、東北2の現在、将来の確率分布（年最大1日降雨量、GCM20）



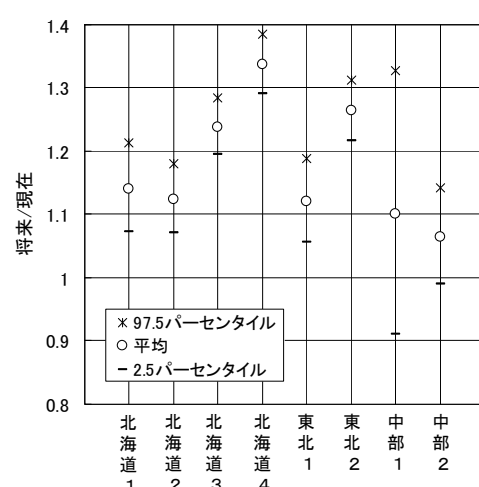
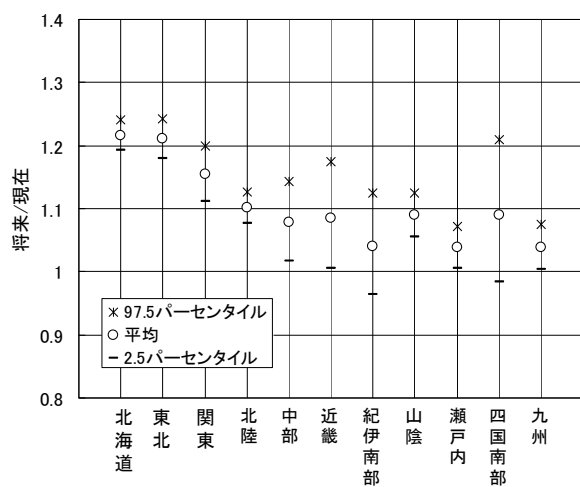
図－5.8 k の信頼区間と地点数の関係（GCM20、年最大1日降雨量の全国平均（地域別比流量図分割）の将来、現在の確率分布の平均で計算）



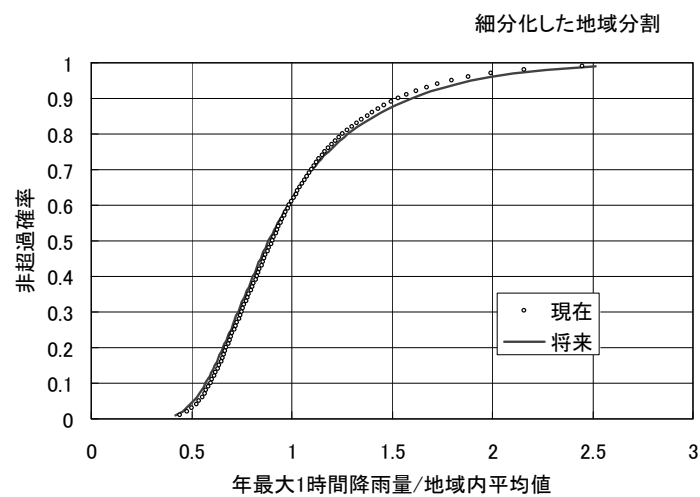
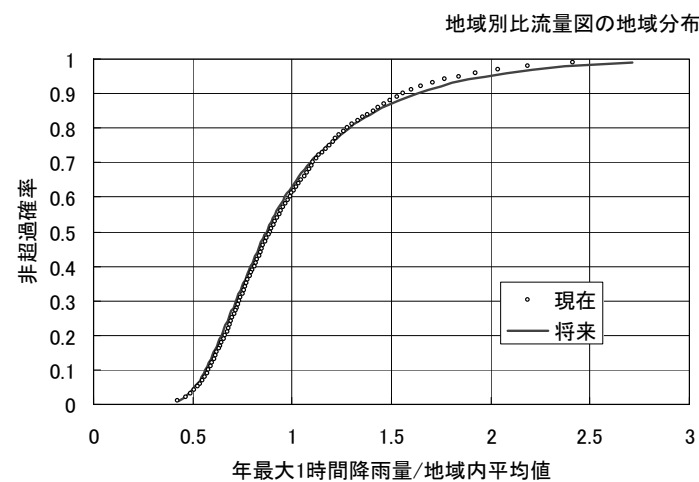
図－5.9 将来と現在の年最大降雨量の平均値の比（GCM20、年最大1日降雨量）



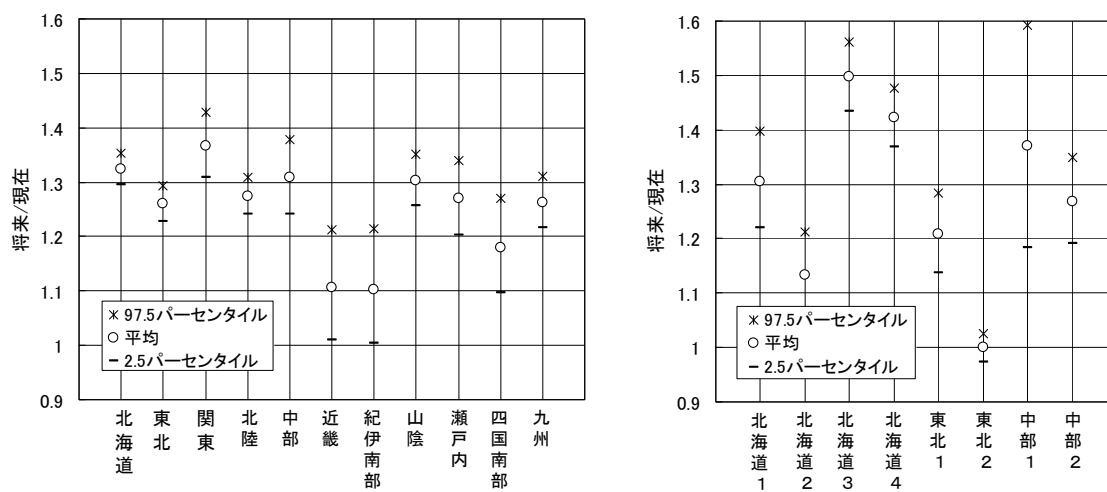
図－5.10 将来と現在の年最大降雨量の平均値の比（GCM20、年最大2日降雨量）



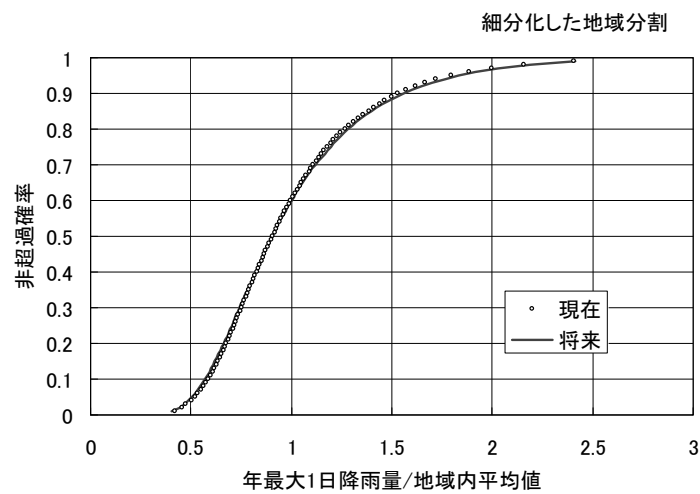
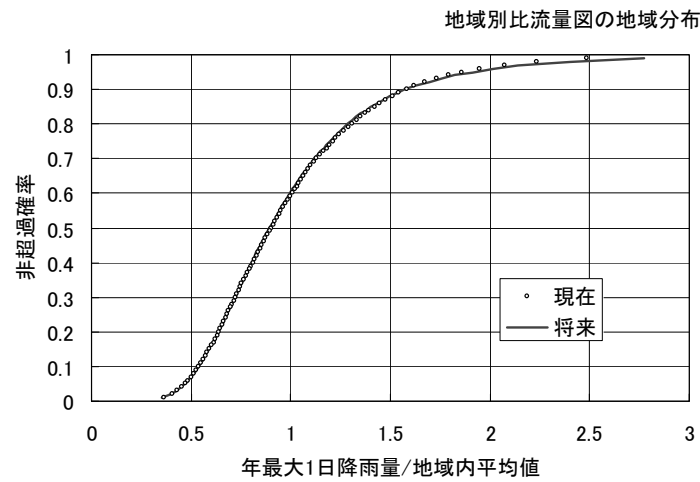
図－5.11 将来と現在の年最大降雨量の平均値の比（GCM20、年最大3日降雨量）



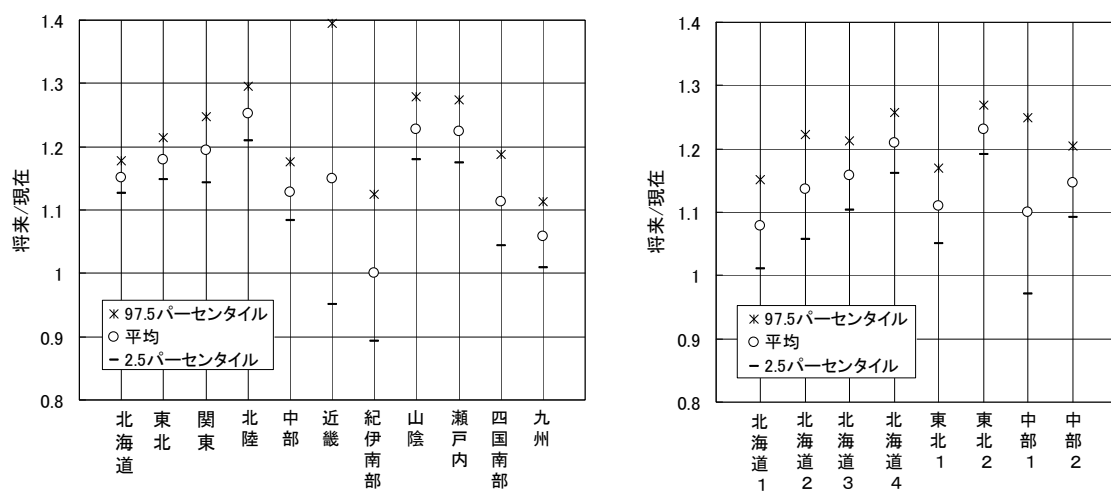
図－5.12 現在、将来の地域内確率分布の全国平均（年最大1時間降雨量（GCM20））



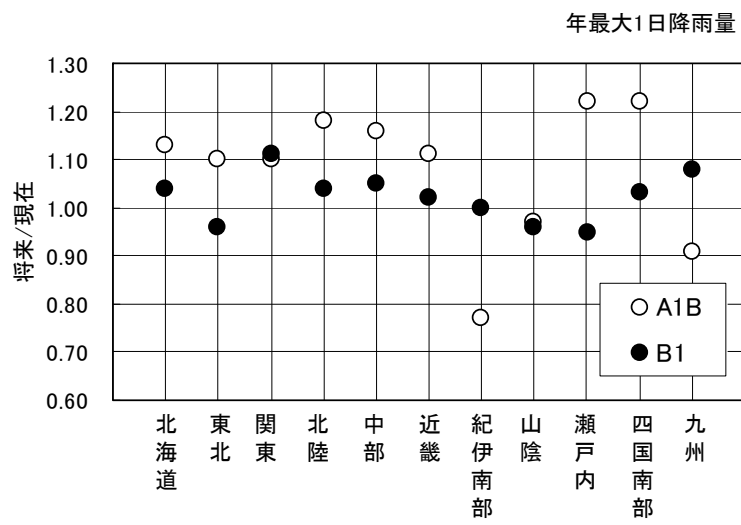
図－5.13 将来と現在の年最大降雨量の平均値の比（GCM20、年最大1時間降雨量）



図－5.14 現在、将来の地域内確率分布の全国平均（年最大1日間降雨量（RCM20））



図－5.15 将来と現在の年最大降雨量の平均値の比（RCM20、年最大1日降雨量）



図－5.16 将来と現在の年最大降雨量の平均値の比（CRCM20、年最大1日降雨量、平均のみ）

表－5.1 21世紀末（100年後）の年最大降雨量変化検討ケース

気候モデル	排出ガスシナリオ	地域区分		降雨時間			
		地域別比流量図	北海道、東北、中部の修正区分	1時間	1日	2日	3日
GCM20	A1B	○	○	○	○	○	○
RCM20	A2	○	○	—	○	—	—
CRCM20	A1B,B1	○	—	—	○	—	—

注) 気候モデルは全て気象庁・気象研究所の開発モデルである。

表－5.2 現在、将来の確率分布の順位和検定（GCM20、年最大1～3日降雨量）

有意水準		5%			1%		
年最大降雨量期間		1日	2日	3日	1日	2日	3日
地域別比流量図の区分	北海道	×	×	×	×	×	×
	東北	○	×	×	○	×	○
	関東	×	○	○	×	○	○
	北陸	○	○	○	○	○	○
	中部	○	○	○	○	○	○
	近畿	○	○	○	○	○	○
	紀伊南部	×	○	○	○	○	○
	山陰	○	○	×	○	○	○
	瀬戸内	○	○	×	○	○	×
	四国南部	○	○	○	○	○	○
細分化した地域区分	九州	○	×	○	○	○	○
	北海道1	○	○	×	○	○	○
	北海道2	○	○	○	○	○	○
	北海道3	○	○	○	○	○	○
	北海道4	×	×	×	×	×	×
	東北1	○	○	○	○	○	○
	東北2	×	×	×	×	×	×
	中部1	×	○	○	○	○	○
	中部2	○	○	○	○	○	○

注) ○ 現在と将来の確率分布が同じの帰無仮説が棄却されない。

×

〃

棄却される。

表－5.3 将来と現在の年最大降雨量の平均値の比（GCM20、年最大1日降雨量）

		年最大1日降雨量				
地域区分		地点数	補正した地点数	2.5パーセンタイル	平均	97.5パーセンタイル
地域別比流量図の地域区分	北海道	246	192	1.21	1.23	1.25
	東北	183	121	1.18	1.21	1.24
	関東	101	41	1.07	1.12	1.17
	北陸	110	85	1.12	1.15	1.17
	中部	81	40	1.00	1.05	1.11
	近畿	27	11	1.01	1.08	1.17
	紀伊南部	28	7	0.98	1.10	1.23
	山陰	71	45	1.09	1.13	1.16
	瀬戸内	66	37	1.06	1.11	1.16
	四国南部	31	10	0.97	1.06	1.18
細分化した地域区分	九州	106	71	1.01	1.04	1.07
	北海道1	50	29	1.11	1.15	1.19
	北海道2	56	30	1.11	1.15	1.19
	北海道3	56	35	1.25	1.29	1.34
	北海道4	84	45	1.27	1.32	1.37
	東北1	53	23	1.03	1.08	1.14
	東北2	130	19	1.21	1.29	1.37
	中部1	28	5	0.92	1.04	1.18
	中部2	53	25	0.99	1.06	1.13

表－5.4 将来と現在の年最大降雨量の平均値の比（GCM20、年最大1日降雨量）

地域区分		地点数	補正した 地点数	2.5パーセン タイル	平均	97.5パーセ ンタイル
地域別比流量図の地域区分	北海道	246	181	1.18	1.20	1.22
	東北	183	108	1.17	1.20	1.23
	関東	101	41	1.09	1.13	1.18
	北陸	110	86	1.11	1.13	1.16
	中部	81	32	1.03	1.09	1.15
	近畿	27	9	1.03	1.11	1.20
	紀伊南部	28	9	0.97	1.05	1.14
	山陰	71	45	1.09	1.13	1.16
	瀬戸内	66	40	1.03	1.07	1.11
	四国南部	31	7	0.97	1.08	1.20
	九州	106	69	1.00	1.03	1.07
細分化した地域区分	北海道1	50	16	1.09	1.15	1.21
	北海道2	56	24	1.05	1.10	1.15
	北海道3	56	30	1.20	1.25	1.29
	北海道4	84	46	1.25	1.29	1.34
	東北1	53	20	1.04	1.09	1.16
	東北2	130	34	1.21	1.27	1.32
	中部1	28	3	0.95	1.10	1.29
	中部2	53	21	1.01	1.08	1.15

表－5.5 将来と現在の年最大降雨量の平均値の比（GCM20、年最大3日降雨量）

地域区分		地点数	補正した 地点数	2.5パーセン タイル	平均	97.5パーセ ンタイル
地域別比流量図の地域区分	北海道	246	169	1.19	1.22	1.24
	東北	183	105	1.18	1.21	1.24
	関東	101	44	1.11	1.15	1.20
	北陸	110	86	1.08	1.10	1.13
	中部	81	27	1.02	1.08	1.14
	近畿	27	9	1.01	1.09	1.17
	紀伊南部	28	10	0.96	1.04	1.12
	山陰	71	42	1.06	1.09	1.12
	瀬戸内	66	40	1.01	1.04	1.07
	四国南部	31	7	0.98	1.09	1.21
	九州	106	63	1.00	1.04	1.08
細分化した地域区分	北海道1	50	13	1.07	1.14	1.21
	北海道2	56	22	1.07	1.12	1.18
	北海道3	56	28	1.19	1.24	1.28
	北海道4	84	42	1.29	1.34	1.39
	東北1	53	17	1.06	1.12	1.19
	東北2	130	42	1.22	1.26	1.31
	中部1	28	2	0.91	1.10	1.33
	中部2	53	18	0.99	1.06	1.14

表－5.6 現在、将来の確率分布の順位和検定（GCM20、年最大1時間降雨量）

有意水準		5%	1%	有意水準		5%	1%
地域別 比流量 図の 区分	北海道	○	○	細 分 化 し た 地 域 区 分	北海道1	×	○
	東北	×	×		北海道2	○	○
	関東	×	×		北海道3	○	○
	北陸	○	○		北海道4	×	×
	中部	×	×		東北1	×	×
	近畿	○	○		東北2	○	○
	紀伊南部	○	○		中部1	×	○
	山陰	×	×		中部2	×	×
	瀬戸内	○	○				
	四国南部	○	○				
	九州	○	○				

注] ○ 現在と将来の確率分布が同じの帰無仮説が棄却されない。
 × " 棄却される。

表－5.7 将来と現在の年最大降雨量の平均値の比（GCM20、年最大1時間降雨量）

		年最大1時間降雨量				
地域区分		地点数	補正した 地点数	2.5パーセ ンタイル	平均	97.5パー センタイル
地域別 比流量 図の 地域 区分	北海道	246	174	1.29	1.32	1.35
	東北	183	130	1.23	1.26	1.29
	関東	101	62	1.31	1.37	1.43
	北陸	110	73	1.24	1.27	1.31
	中部	81	44	1.24	1.31	1.38
	近畿	27	9	1.01	1.11	1.21
	紀伊南部	28	10	1.00	1.10	1.21
	山陰	71	46	1.26	1.30	1.35
	瀬戸内	66	31	1.20	1.27	1.34
	四国南部	31	14	1.10	1.18	1.27
	九州	106	70	1.22	1.26	1.31
細 分 化 し た 地 域 区 分	北海道1	50	19	1.22	1.31	1.40
	北海道2	56	17	1.06	1.13	1.21
	北海道3	56	26	1.43	1.50	1.56
	北海道4	84	50	1.37	1.42	1.48
	東北1	53	26	1.14	1.21	1.28
	東北2	130	86	0.97	1.00	1.03
	中部1	28	5	1.18	1.37	1.59
	中部2	53	26	1.19	1.27	1.35

表－5.8 現在、将来の確率分布の順位和検定（RCM20、年最大1日降雨量）

有意水準		5%	1%	細分化した地域区分	有意水準		5%	1%
地域別比流量図の区分	北海道	○	○		北海道1	○	○	
	東北	○	○		北海道2	○	○	
	関東	○	○		北海道3	○	○	
	北陸	×	×		北海道4	×	○	
	中部	○	○		東北1	○	○	
	近畿	○	○		東北2	○	○	
	紀伊南部	○	○		中部1	○	○	
	山陰	○	○		中部2	○	○	
	瀬戸内	○	○					
	四国南部	○	○					
	九州	○	○					

注] ○ 現在と将来の確率分布が同じの帰無仮説が棄却されない。
 × “ 棄却される。

表－5.9 将来と現在の年最大降雨量の平均値の比（RCM20、年最大1日降雨量）

		年最大1日降雨量				
地域区分		地点数	補正した地点数	2.5パーセンタイル	平均	97.5パーセンタイル
地域別比流量図の地域区分	北海道	193	150	1.13	1.15	1.18
	東北	149	108	1.15	1.18	1.21
	関東	75	42	1.14	1.19	1.25
	北陸	101	76	1.21	1.25	1.30
	中部	81	45	1.08	1.13	1.18
	近畿	27	3	0.95	1.15	1.40
	紀伊南部	26	7	0.89	1.00	1.12
	山陰	58	40	1.18	1.23	1.28
	瀬戸内	62	41	1.17	1.22	1.27
	四国南部	33	19	1.04	1.11	1.19
	九州	100	58	1.01	1.06	1.11
細分化した地域区分	北海道1	40	19	1.01	1.08	1.15
	北海道2	42	13	1.06	1.14	1.22
	北海道3	42	24	1.10	1.16	1.21
	北海道4	69	46	1.16	1.21	1.26
	東北1	48	26	1.05	1.11	1.17
	東北2	101	67	1.19	1.23	1.27
	中部1	28	5	0.97	1.10	1.25
	中部2	53	27	1.09	1.15	1.21

表－5.10 現在、将来の確率分布の順位和検定（CRCM20、年最大1日降雨量）

排出シナリオ	A1B		B1	
	5%	1%	5%	1%
北海道	○	○	×	○
東北	○	○	○	○
関東	○	○	○	○
北陸	×	×	○	○
中部	○	○	○	○
近畿	○	○	○	○
紀伊南部	○	○	○	○
山陰	○	○	×	○
瀬戸内	○	○	○	○
四国南部	○	○	○	○
九州	○	○	○	○

注] ○ 現在と将来の確率分布が同じの帰無仮説が棄却されない。
 × “ 棄却される。

表－5.11 将来と現在の年最大降雨量の平均値の比（CRCM20、年最大1日降雨量、平均のみ）

地域	シナリオ	
	A1B	B1
北海道	1.13	1.04
東北	1.10	0.96
関東	1.10	1.11
北陸	1.18	1.04
中部	1.16	1.05
近畿	1.11	1.02
紀伊南部	0.77	1.00
山陰	0.97	0.96
瀬戸内	1.22	0.95
四国南部	1.22	1.03
九州	0.91	1.08

6. まとめと今後の課題

6. まとめと今後の課題

6.1. 検討結果のまとめ

以上の検討結果をまとめると以下の通りである。

まず、**GCM20 の IPCC モデルとの関係については（2 章）、**

- 1) 日本周辺における現在、将来のそれぞれの期間における時系列変化（1990～1999 年の平均値を基準とした比率の変化）には GCM20、全 IPCC モデルとも有意な減少、増加傾向はみられない。また、GCM20 の結果はモデル群のばらつきの中にあり、中位的な位置にある。
- 2) 全球平均年降水量の現在、将来のそれぞれの期間における時系列変化は、GCM20、IPCC モデル群とも同様の傾向を示し、日本周辺より増加傾向が顕著になる。GCM20 の結果は IPCC モデル群のばらつきの中にある。

との結果を得、GCM20 の増減傾向は他の IPCC の傾向のばらつきの中にあり、特異なものでないことを確認した。

また、**将来の年最大降雨量の確率分布の評価方法について、データのばらつきに関する検討を行い（3 章）、**

- 3) GCM20 で与えられている現在、将来（21 世紀末）の 20 年間のデータ比較による検討を行う場合、格子点ごとの検討では、データが本来有しているばらつきの影響が大きく、定量的な影響把握を困難にする可能性がある。

ことを示し、

- 4) ばらつきを低減する方法として、地域内のデータを年別データと同質のデータとして扱い、データ数を多くして確率分布を求める方法が考えられる。この場合、地域内のデータは同じ確率分布に従うこと及び互いに独立していることが条件になる。

ことを示した。この場合の地域区分について検討した結果、

- 5) 地域別比流量図の地域分割により、地域内の GCM20 の確率分布が概ね同様となる地域区分が得られる。ただし、同一性が低いと判断される地域もあり、北海道、東北、中部については、更なる細分化により同一性の向上を図ることができる。
- 6) 地域別比流量図の地域分割による GCM20 の地域内のデータは、地域面積が小さく格子点数が少ないほど相関性が強くなり独立性が成立しなくなる傾向を示す。独立性が成立しない場合の影響として確率分布を歪ませる影響、及びデータ数に増加に伴うばらつき低減効果が低減されることが考えられ、特に後者の影響について検討が必要である。
- 7) 地域内データを年別データと同質のデータとして用いたとしても、GCM20 の格子点数では、ばらつきの影響はある程度残存する。

ことを示した。以上の検討結果を踏まえて、**地域別比流量図の地域分割による GCM20（現在）と地上アメダスの観測データの比較検証を実施し（4 章）、**

- 8) 年平均日降水量の GCM20 と地上アメダス観測値は比較的よく一致するが、GCM20 の標準偏差値は地上アメダスの 7～9 割となっており、GCM20 での降雨の変動は地上アメダスのそれより小さくなっている。
- 9) GCM20 の 11～4 月の月降水量の平均値は、地域によらず地上アメダスより大きくなる傾向があり、9、10 月は小さくなる傾向がある。月降水量の標準偏差の GCM20/地上アメダスは、平均値のそれより小さく、GCM20 の月降水量の変動が小さくなる傾向を示すが、特に洪水期を中心に減少が生じている。

- 10) GCM20 の日降水量の発生割合は、地上アメダスと比較して、ある小降水量（0.5mm 程度）以下及びある降水量（40.5mm～100.5mm）以上で小さく、両者の降水量間で大きくなる傾向がある。つまり、無降雨、豪雨の発生割合が小さくなり、中小降雨の発生割合が大きくなる傾向がある。
- 11) 年最大 1～3 日降雨量の平均値の GCM20/地上アメダスは 0.65～0.85 程度であり、GCM20 の値は観測値よりやや小さい。また、年最大 1 時間降雨量の平均値の比は 0.6～0.5 以下であり、更に小さい。

ことを示した。本報告で対象とする年最大降雨量については、再現性は十分とはいえず、解像度の向上など更なる精度向上が必要と考えられるが、1 日降雨量以上については比較的再現されており、本報告では将来と現在の比を取ることで、将来の降雨変化の影響がある程度把握できるものと考えた。また、1 時間降雨量については、参考と位置づけることとした。

以上の検討を踏まえて**将来の降雨量変化について、地域内平均値で無次元化した確率分布を中心に検討し以下の結果を得た（5 章）。**

- 12) GCM20（A1B シナリオ）の年最大 1～3 日降雨量、RCM20（A2 シナリオ）の年最大 1 日降雨量また、参考ではあるが CRCM20（A1B、B1 シナリオ）において、以下の事項を確認し、現在、将来の確率分布がほぼ一致し、将来と現在の降雨量が再現期間によらず、両者の地域内平均値の比で表されることを示した。

- ①現在、将来の地域ごとの確率分布の関係にはばらつきがあるが、地域全体を平均した分布では、両者はほぼ一致する。この分布はガンベル分布と比較的よく一致する。
- ②地域ごとの順位和検定においても多くの地域で現在、将来の確率分布が同じという帰無仮説が棄却されない。

- 13) 12) の結果に基づき地域内平均値の比のばらつきについて、地域内格子点の独立性を評価した算定方法を示し、各地域の平均値及び 95% の信頼区間を示した。主な結果は以下の通り、

- ①GCM20 の年最大 1～3 日降雨量の降雨期間による違いは小さい。地域別比流量図の分割では東日本で将来/現在が大きく西に行くに従って小さくなる傾向があり、2.5 パーセンタイル、平均、97.5 パーセンタイル値はそれぞれ 0.96～1.21、1.03～1.23、1.07～1.25 の範囲にある。細分化した地域では、北海道、東北で分割地域間の差が大きく、北海道の分割地域の 2.5 パーセンタイル、平均、97.5 パーセンタイル値は 1.05～1.29、1.10～1.34、1.15～1.39 の範囲、東北の分割地域では 1.03～1.22、1.08～1.29、1.14～1.37 の範囲となる。
- ②RCM20 の年最大 1 日降雨量の将来/現在は、全体に GCM20 より大きい傾向があり排出シナリオの違いによるものと思われる。地域別比流量図の地域分割による 2.5 パーセンタイル、平均、97.5 パーセンタイル値の範囲は、それぞれ 0.89～1.21、1.0～1.25、1.11～1.40 であり、細分化した地域でもこの範囲に含まれる。地域的な傾向は GCM20 とは異なり、北陸や山陰、瀬戸内で大きい値を示している。
- ③参考とした CRCM20 の年最大 1 日降雨量の A1B シナリオの将来/現在は全体として GCM20 より小さい傾向を示す。地域により異なるが、B1 シナリオでは A1B シナリオより 10%程度の低減する傾向があり、排出抑制の効果が確認される。

- 14) 参考とした GCM20 の年最大 1 時間降雨量については、1～3 日降雨量と異なる以下の傾向が見られた。

- ①現在、将来の全地域平均の確率分布では、非超過確率の大きい領域で将来値が大きい値を示す傾向があり（非超過確率 0.9～0.99 において、地域別比流量図の分割では 10%程度、細分化した分

割を導入した場合は 5%程度大きい)、短期の降雨量では、再現期間の長い将来の降雨量が平均的な比より大きくなる可能性がある。

②順位と検定で現在と将来の確率分布が同じという帰無仮説が棄却される地域数が、年最大 1～3 日降雨量の場合より増加する。

③将来/現在の平均値は年最大 1～3 日降雨量の場合より全体に大きくなる傾向があり、平均的には 10%程度、地域によっては 30%程度大きい地域がある。年最大 1 時間降雨量と年最大 1 日降雨量の発生日は、20 年最大降雨量の全数に対し現在で 55%、将来で 62%と比較的高く、年最大 1 日降雨量の降雨波形が変化する可能性がある。

以上の各モデルの地域平均値と 95%信頼区間について、**図－6.1** 及び**表－6.1** にまとめた。また、GCM20 の年最大 1～3 日降雨量の検討から、

15) 地域別比流量図の分割と細分化した地域分割では、細分化した地域分割において、現在と将来の確率分布がより一致する傾向にあり、順位と検定で現在、将来の分布が同一の帰無仮説が棄却されるエリアが減少する。

結果を得ている。

なお、以上の検討では、地域別比流量図の地域分割及び一部地域について更に細分化した分割の両者について実施したが、地域内の確率分布の類似性は、本報告で用いたデータ数確保のための方法適用のための前提条件である。従って、細分化した地域区分の結果を優先して評価する必要があると考える。

6.2. 今後の課題

GCM20 のシミュレーション結果を中心に将来の年最大降雨量の予測方法を検討し、21 世紀末の降雨量変化を現在の降雨量の比として提示した。今後の課題は以下の通りである。

まず、今回の検討内容について、

1) 地域区分について、地域別比流量図を基本とし、細分化による修正を実施した検討によりは実施しある程度良好な結果を得たが、地域別比流量図の境界そのものを変更することで更に適切な分割が可能になる可能性があり、検討する必要がある。

また、今後の気候変動シミュレーションに関し以下の事項が望まれる。

2) より高解像なモデルの開発による年最大降雨量の再現性の向上。特に、短期的及び局所的な降雨の再現性の向上。

3) ばらつき低減のための多数のアンサンブル計算の実施。

4) 多数の地球モデルが提案されており、モデル相互の差異の解明による当該モデルの傾向把握、又は各種地球モデルを基本とした日本周辺の高解像化。

5) 21 世紀末といったある期間ではなく、連続した変化の検討が可能になるような長期計算。

このうち 4) について、今回の検討は GCM20 を中心に複数のモデルについても実施しているが、用いたモデルはいずれも CGCM の計算結果と関係しているものであり、ある種の偏りがあることが懸念される。より適切な将来の条件設定のために必要と考えている。

参考文献

- 1) 京都大学防災研究所編、風水害論、山海堂、pp.167～177、2003
- 2) 和田一範、村瀬勝彦、富澤洋介：地球温暖化に伴う降雨特性の変化と洪水・渇水リスクの評価に関する研究、土木学会論文集、No.796、Ⅱ－72、pp.23～37、2005
- 3) Sasaki,H., Kurihara, K., Takayabu, T.: Comparison of climatic reproducibility between a super-high-resolution atmosphere general circulation model and a meteorological research institute regional climate model, Sola, Vol.1, pp.81-84, 2005
- 4) 建設省河川局監修：改訂新版建設省河川砂防技術基準(案)同解説－設計編Ⅰ－、山海堂、p.152、1997
- 5) 東京大学教養学部統計学教室編：自然科学の統計学、東京大学出版会、第七刷、pp.221～222、2001
- 6) 気象庁：地球温暖化予測情報、第7巻、p.36、2008

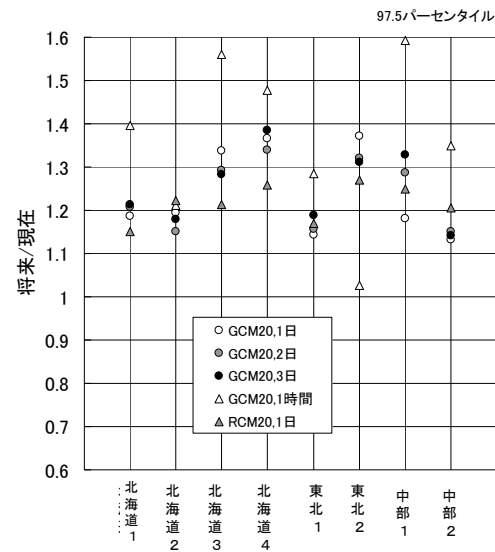
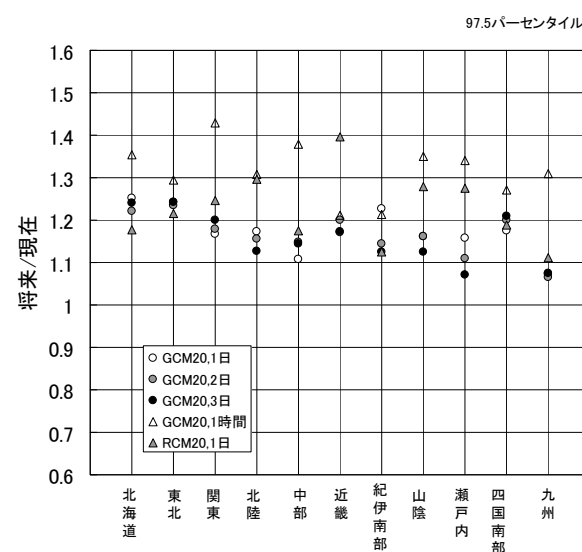
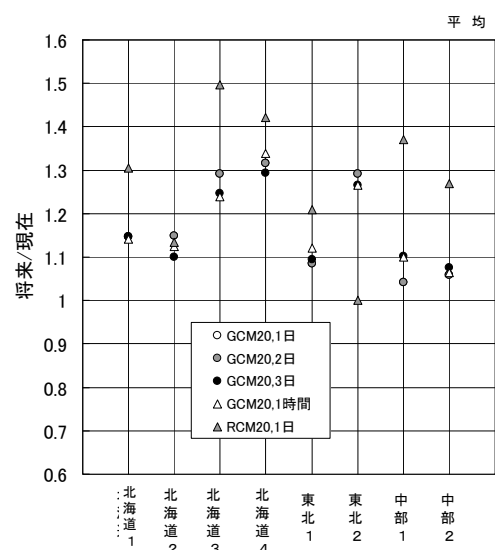
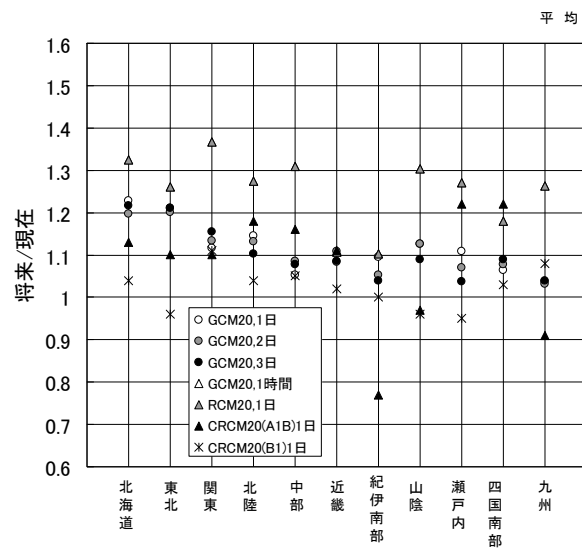
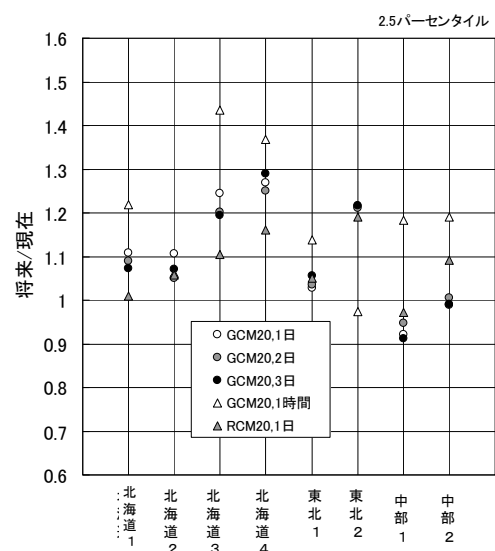
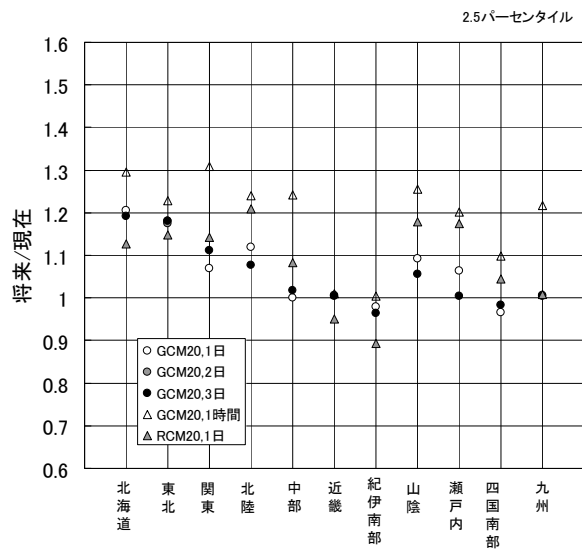


図-0.1 現在と将来の年最大降雨量の平均値の比（全モデル）

表－0.1 現在と将来の年最大降雨量の平均値の比（全モデル）

モデル		GCM20											
排出シナリオ		A1B											
年最大降雨量の期間		1日			2日			3日			1時間		
地域区分		2.5パーセ ンタイル	平均	97.5パーセ ンタイル	2.5パーセ ンタイル	平均	97.5パーセ ンタイル	2.5パーセン タイル	平均	97.5パーセ ンタイル	2.5パーセン タイル	平均	97.5パーセ ンタイル
地域別 比流量 図の 地域 区分	北海道	1.21	1.23	1.25	1.18	1.20	1.22	1.19	1.22	1.24	1.29	1.32	1.35
	東北	1.18	1.21	1.24	1.17	1.20	1.23	1.18	1.21	1.24	1.23	1.26	1.29
	関東	1.07	1.12	1.17	1.09	1.13	1.18	1.11	1.15	1.20	1.31	1.37	1.43
	北陸	1.12	1.15	1.17	1.11	1.13	1.16	1.08	1.10	1.13	1.24	1.27	1.31
	中部	1.00	1.05	1.11	1.03	1.09	1.15	1.02	1.08	1.14	1.24	1.31	1.38
	近畿	1.01	1.08	1.17	1.03	1.11	1.20	1.01	1.09	1.17	1.01	1.11	1.21
	紀伊南部	0.98	1.10	1.23	0.97	1.05	1.14	0.96	1.04	1.12	1.00	1.10	1.21
	山陰	1.09	1.13	1.16	1.09	1.13	1.16	1.06	1.09	1.12	1.26	1.30	1.35
	瀬戸内	1.06	1.11	1.16	1.03	1.07	1.11	1.01	1.04	1.07	1.20	1.27	1.34
	四国南部	0.97	1.06	1.18	0.97	1.08	1.20	0.98	1.09	1.21	1.10	1.18	1.27
九州	1.01	1.04	1.07	1.00	1.03	1.07	1.00	1.04	1.08	1.22	1.26	1.31	
細 分 化 し た 地 域 区 分	北海道1	1.11	1.15	1.19	1.09	1.15	1.21	1.07	1.14	1.21	1.22	1.31	1.40
	北海道2	1.11	1.15	1.19	1.05	1.10	1.15	1.07	1.12	1.18	1.06	1.13	1.21
	北海道3	1.25	1.29	1.34	1.20	1.25	1.29	1.19	1.24	1.28	1.43	1.50	1.56
	北海道4	1.27	1.32	1.37	1.25	1.29	1.34	1.29	1.34	1.39	1.37	1.42	1.48
	東北1	1.03	1.08	1.14	1.04	1.09	1.16	1.06	1.12	1.19	1.14	1.21	1.28
	東北2	1.21	1.29	1.37	1.21	1.27	1.32	1.22	1.26	1.31	0.97	1.00	1.03
	中部1	0.92	1.04	1.18	0.95	1.10	1.29	0.91	1.10	1.33	1.18	1.37	1.59
	中部2	0.99	1.06	1.13	1.01	1.08	1.15	0.99	1.06	1.14	1.19	1.27	1.35

モデル		RCM20			CRCM20	
排出シナリオ		A2			A1B	B1
年最大降雨量の期間		1日			1日	1日
地域区分		2.5パーセントタイル	平均	97.5パーセントタイル	平均	平均
地域別比流量図の地域区分	北海道	1.13	1.15	1.18	1.13	1.04
	東北	1.15	1.18	1.21	1.10	0.96
	関東	1.14	1.19	1.25	1.10	1.11
	北陸	1.21	1.25	1.30	1.18	1.04
	中部	1.08	1.13	1.18	1.16	1.05
	近畿	0.95	1.15	1.40	1.11	1.02
	紀伊南部	0.89	1.00	1.12	0.77	1.00
	山陰	1.18	1.23	1.28	0.97	0.96
	瀬戸内	1.17	1.22	1.27	1.22	0.95
	四国南部	1.04	1.11	1.19	1.22	1.03
	九州	1.01	1.06	1.11	0.91	1.08
細分化した地域区分	北海道1	1.01	1.08	1.15	—	—
	北海道2	1.06	1.14	1.22	—	—
	北海道3	1.10	1.16	1.21	—	—
	北海道4	1.16	1.21	1.26	—	—
	東北1	1.05	1.11	1.17	—	—
	東北2	1.19	1.23	1.27	—	—
	中部1	0.97	1.10	1.25	—	—
	中部2	1.09	1.15	1.21	—	—

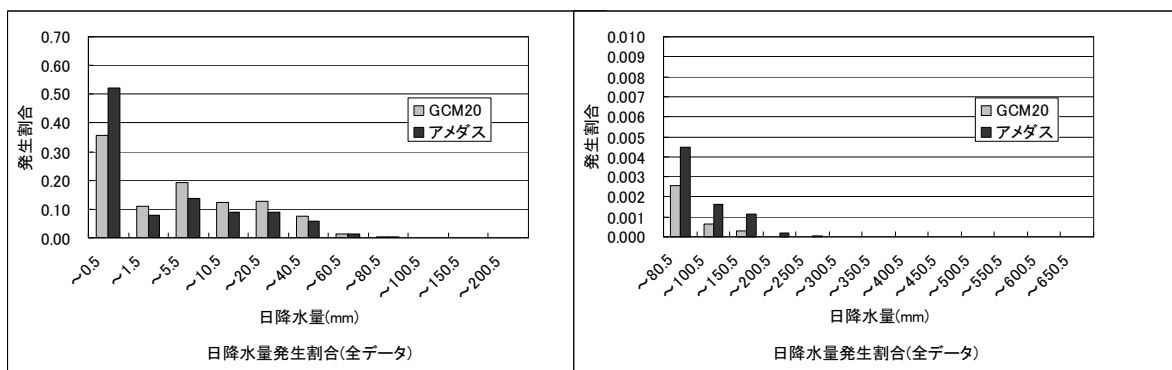
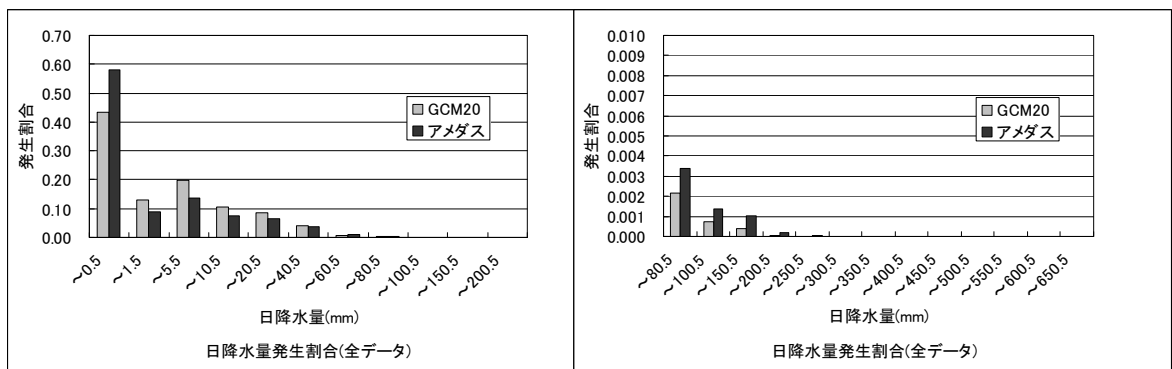
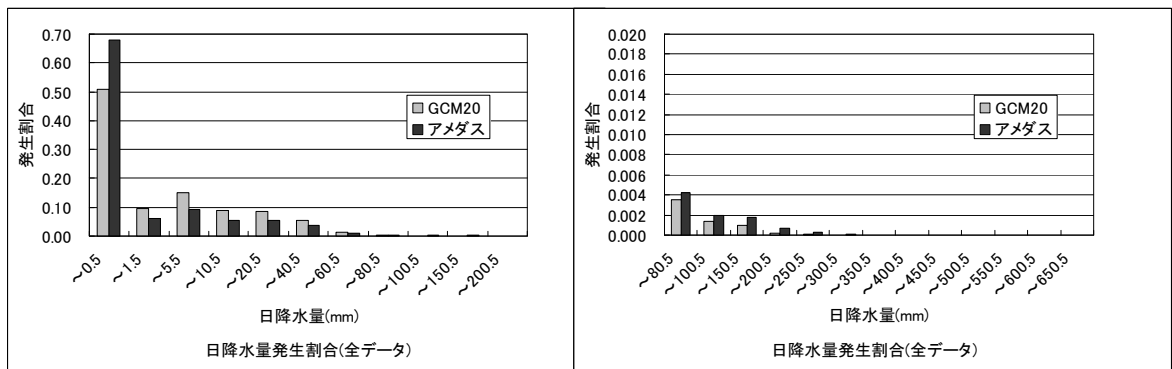
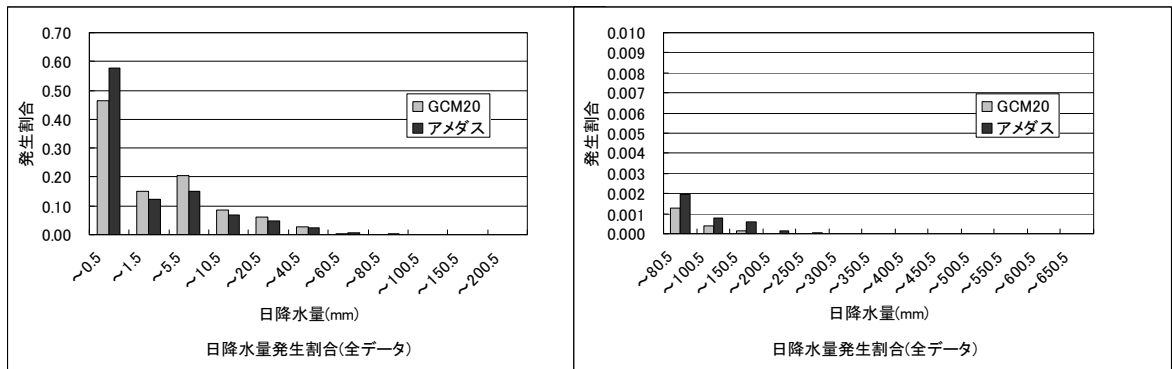
参考資料

参考資料

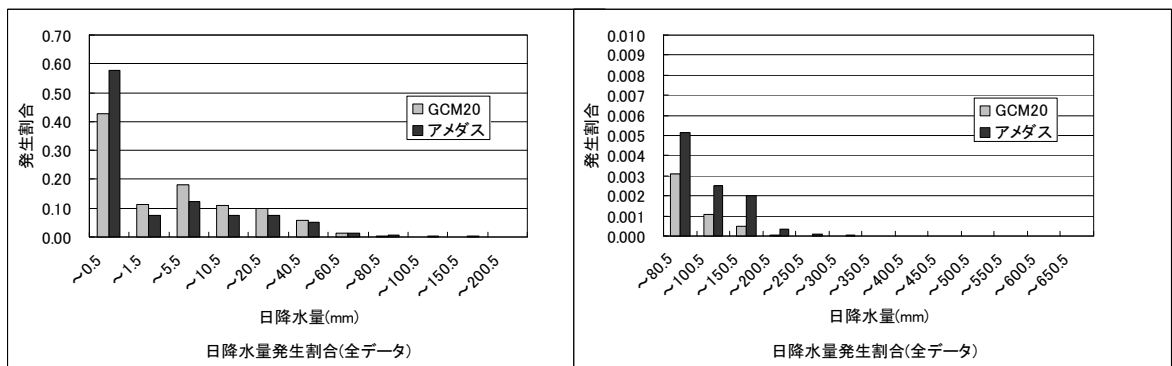
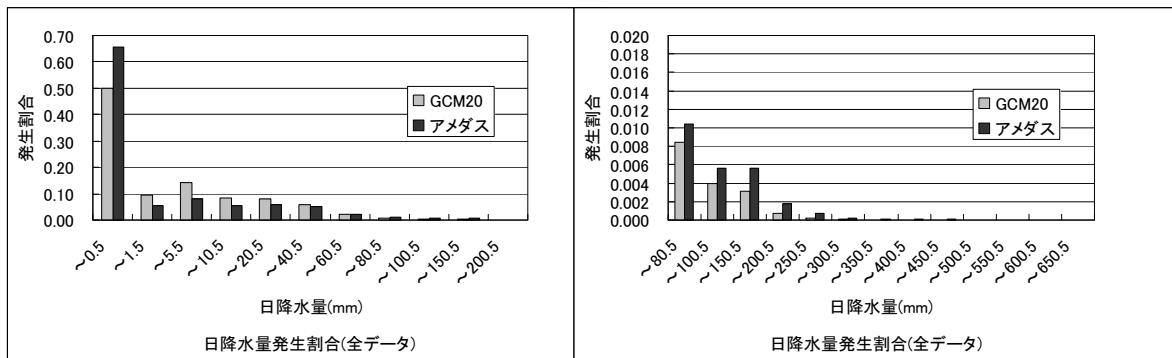
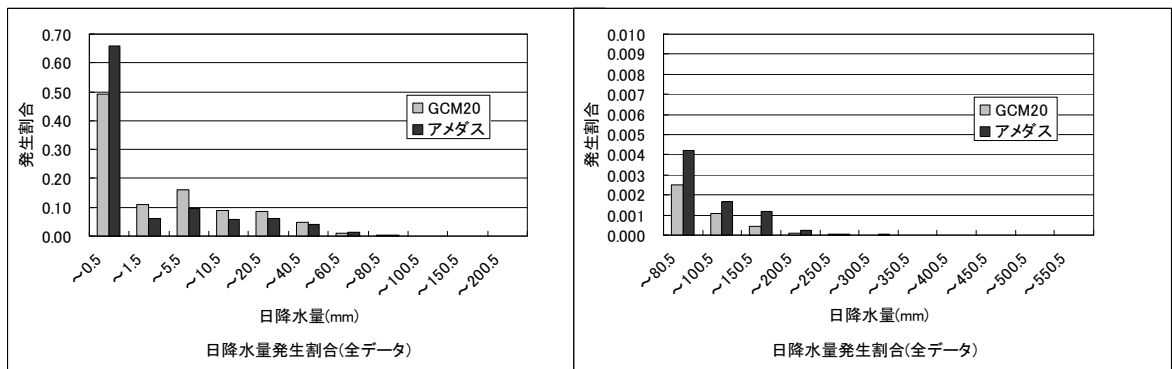
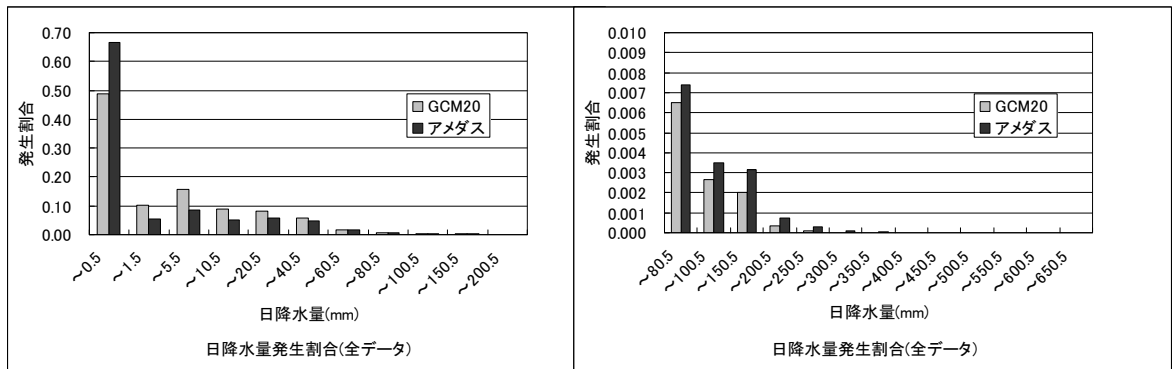
ページ

参考図－1.1	GCM20 と地上アメダスの日降雨量の発生割合（1979～1998）	69
参考図－1.2	GCM20 と地上アメダスの日降雨量の発生割合（1979～1998）	70
参考図－1.3	GCM20 と地上アメダスの日降雨量の発生割合（1979～1998）	71
参考図－2.1	月降水量の平均と標準偏差のGCM20/地上アメダス	72
参考図－2.2	月降水量の平均と標準偏差のGCM20/地上アメダス	73
参考図－4.1	GCM20 の現在、将来（21 世紀末）の日降雨量の発生割合	74
参考図－4.2	GCM20 の現在、将来（21 世紀末）の日降雨量の発生割合	75
参考図－4.3	GCM20 の現在、将来（21 世紀末）の日降雨量の発生割合	76
参考図－5.1	月降水量の平均と標準偏差の将来/現在（GCM20）	77
参考図－5.2	月降水量の平均と標準偏差の将来/現在（GCM20）	78
参考図－7.1	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 1 日降雨量）	79
参考図－7.2	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 1 日降雨量）	80
参考図－7.3	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 1 日降雨量）	81
参考図－7.4	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 1 日降雨量）	82
参考図－7.5	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 1 日降雨量）	83
参考図－7.6	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 1 日降雨量）	84
参考図－7.7	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 1 日降雨量）	85
参考図－8.1	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 2 日降雨量）	86
参考図－8.2	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 2 日降雨量）	87
参考図－8.3	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 2 日降雨量）	88
参考図－8.4	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 2 日降雨量）	89
参考図－8.5	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 2 日降雨量）	90
参考図－8.6	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 2 日降雨量）	91
参考図－8.7	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 2 日降雨量）	92
参考図－9.1	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 3 日降雨量）	93
参考図－9.2	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 3 日降雨量）	94
参考図－9.3	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 3 日降雨量）	95
参考図－9.4	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 3 日降雨量）	96
参考図－9.5	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 3 日降雨量）	97
参考図－9.6	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 3 日降雨量）	98
参考図－9.7	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 3 日降雨量）	99
参考図－10.1	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 1 時間降雨量） ..	100
参考図－10.2	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 1 時間降雨量） ..	101
参考図－10.3	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 1 時間降雨量） ..	102
参考図－10.4	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 1 時間降雨量） ..	103
参考図－10.5	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 1 時間降雨量） ..	104
参考図－10.6	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大 1 時間降雨量） ..	105

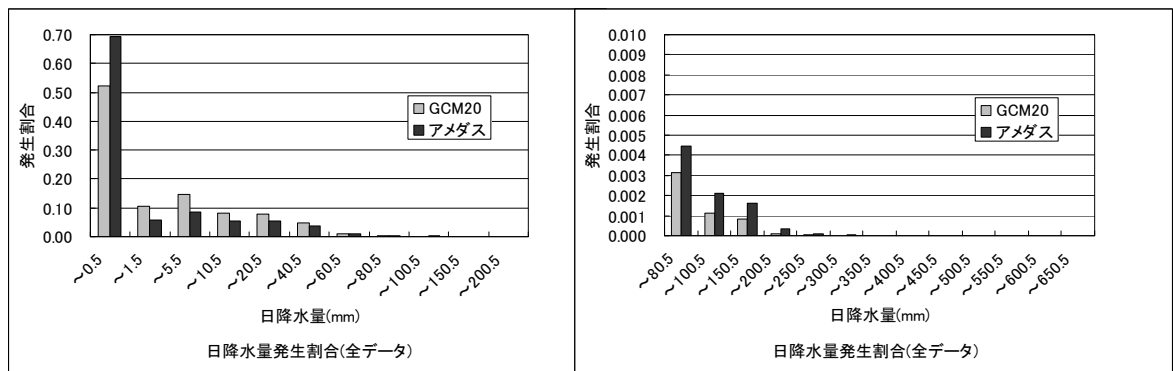
参考図－10.7	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大1時間降雨量）	..106
参考図－11.1	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（RCM20、年最大1日降雨量）	107
参考図－11.2	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（RCM20、年最大1日降雨量）	108
参考図－11.3	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（RCM20、年最大1日降雨量）	109
参考図－11.4	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（RCM20、年最大1日降雨量）	110
参考図－11.5	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（RCM20、年最大1日降雨量）	111
参考図－11.6	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（RCM20、年最大1日降雨量）	112
参考図－11.7	地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（RCM20、年最大1日降雨量）	113
参考図－12.1	各点20年平均の将来/現在の地域内発生割合（GCM20、年最大1日降雨量）	114
参考図－12.2	各点20年平均の将来/現在の地域内発生割合（GCM20、年最大1日降雨量）	115
参考図－13.1	各点20年平均の将来/現在の地域内発生割合（GCM20、年最大1時間降雨量）	..116
参考図－13.2	各点20年平均の将来/現在の地域内発生割合（GCM20、年最大1時間降雨量）	..117
参考図－14.1	各点20年平均の将来/現在の地域内発生割合（RCM20、年最大1日降雨量）	118
参考図－14.2	各点20年平均の将来/現在の地域内発生割合（RCM20、年最大1日降雨量）	119



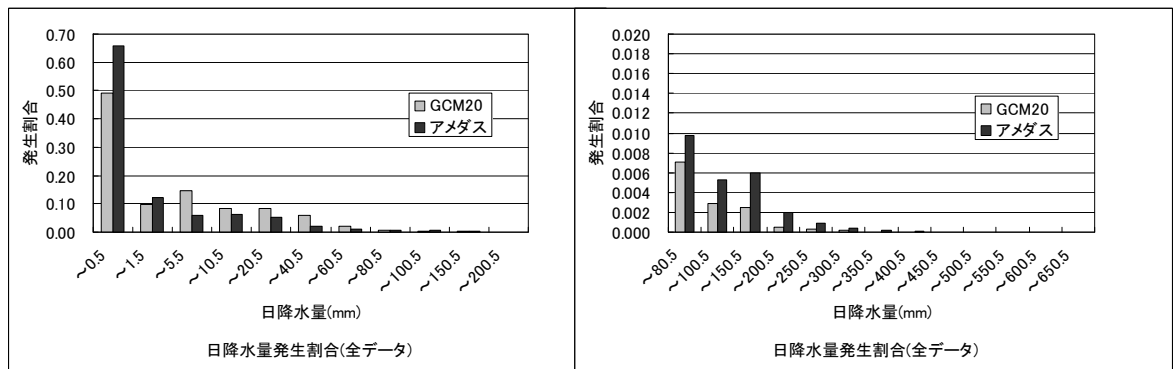
参考図－1.1 GCM20 と地上アメダスの日降雨量の発生割合（1979～1998）



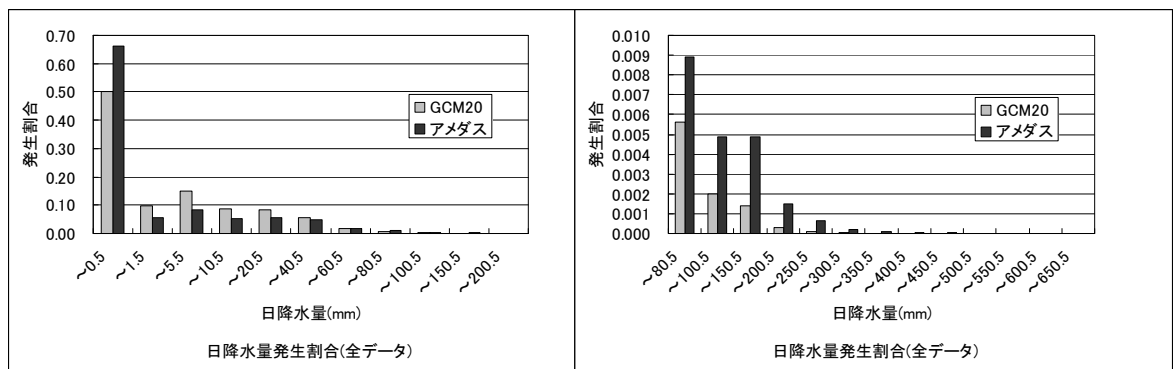
参考図－1.2 GCM20 と地上アメダスの日降雨量の発生割合（1979～1998）



瀬戸内

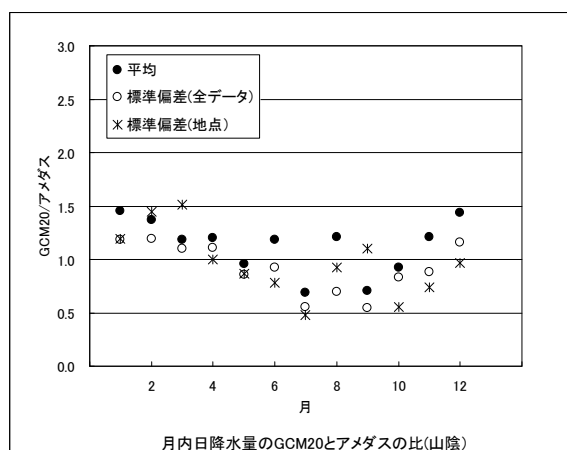
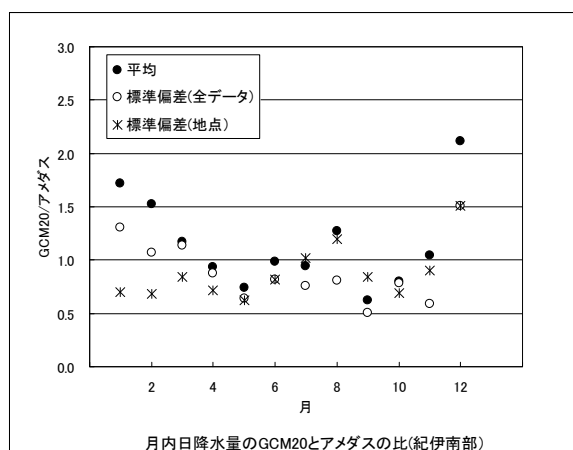
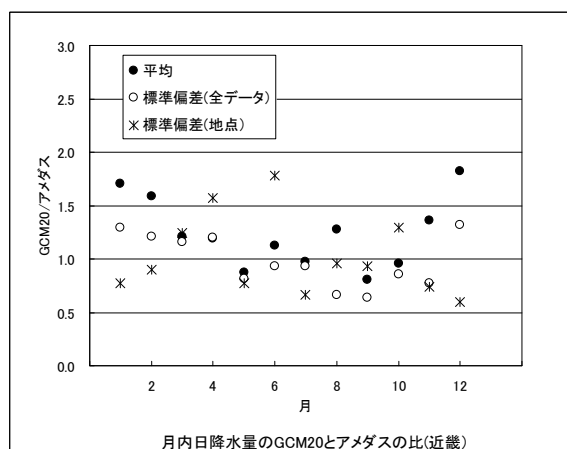
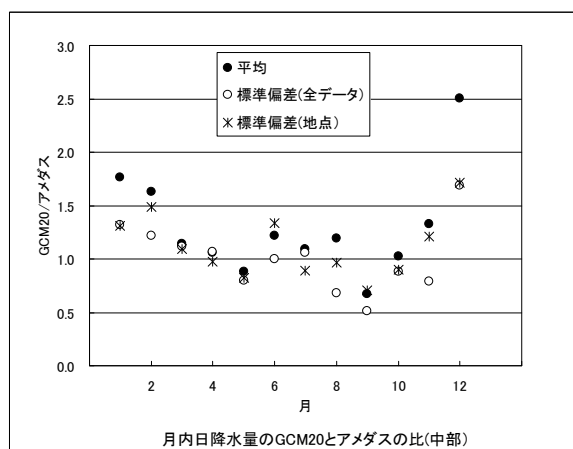
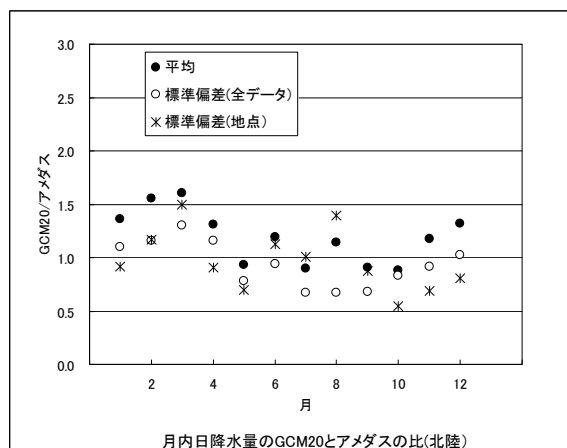
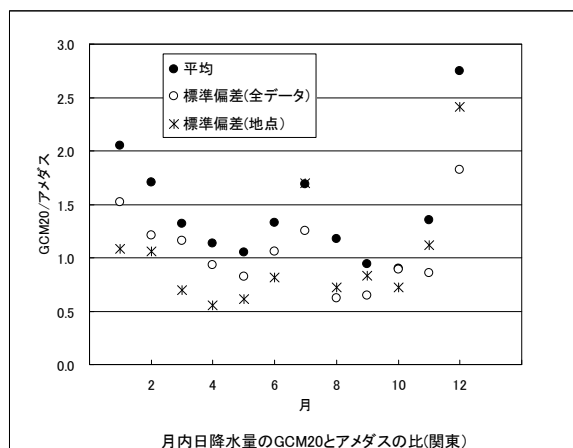
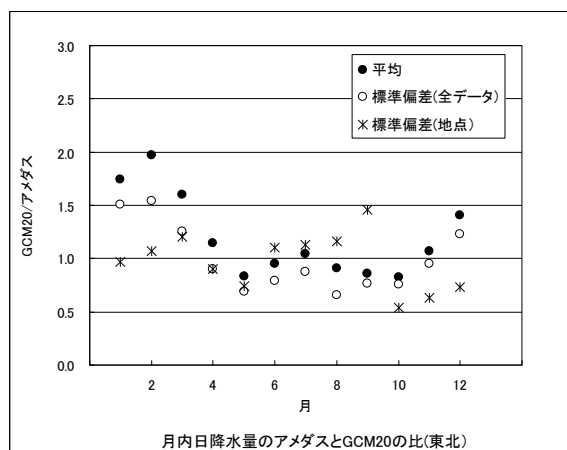
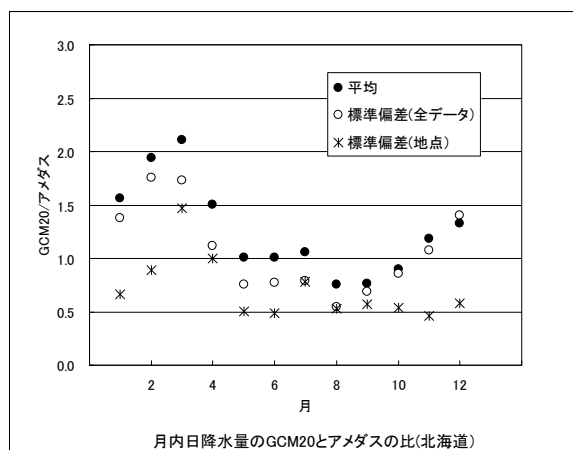


四国南部

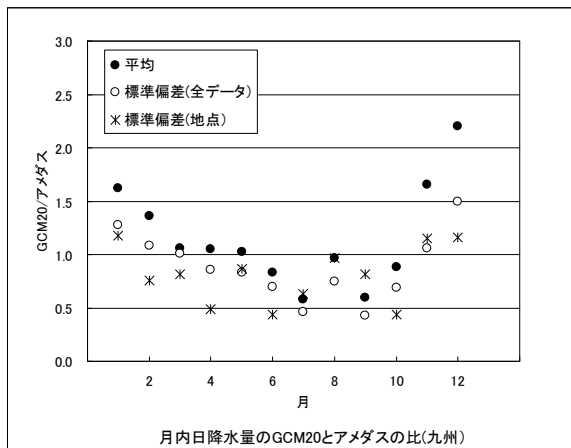
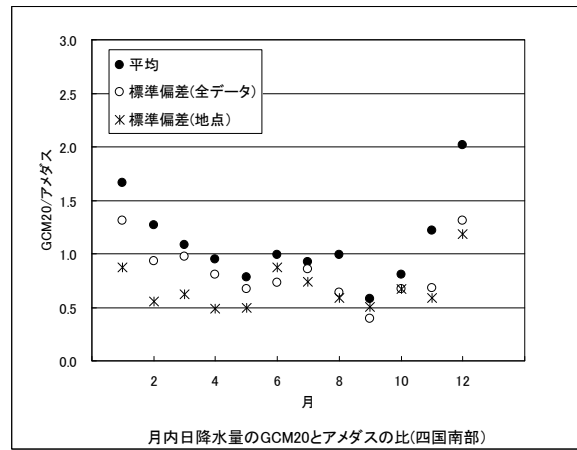
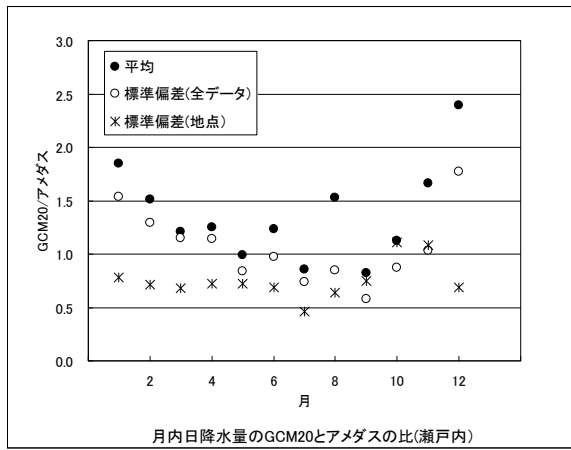


九州

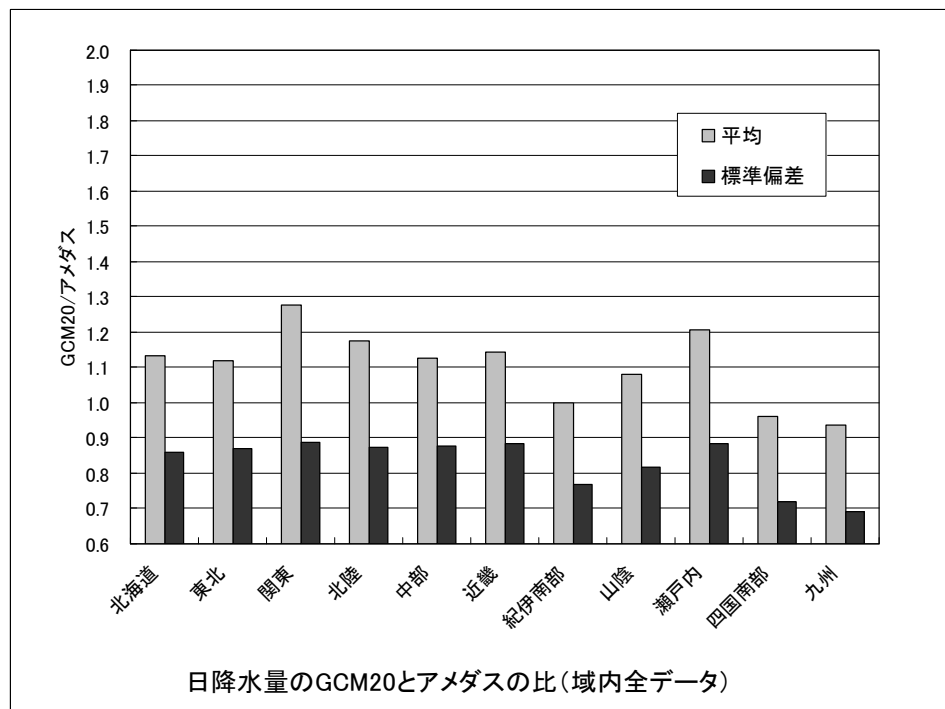
参考図－1.3 GCM20 と地上アメダスの日降雨量の発生割合（1979～1998）



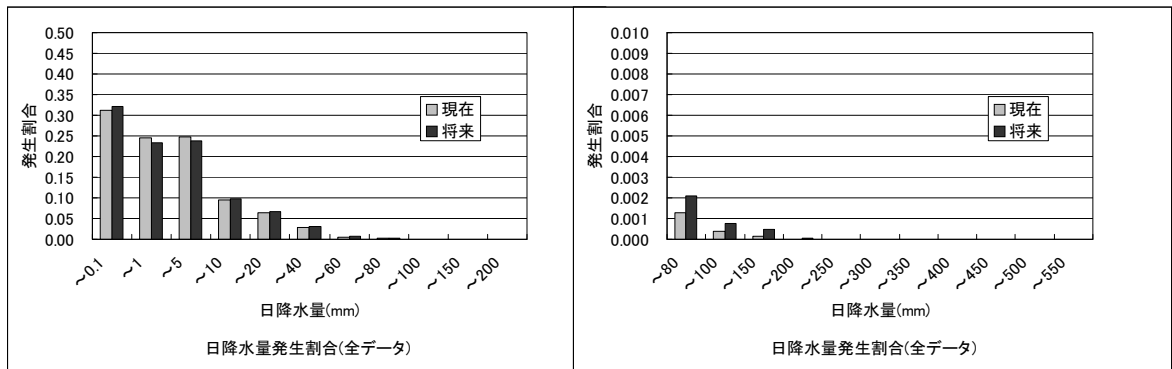
参考図－2.1 月降水量の平均と標準偏差の GCM20/地上アメダス



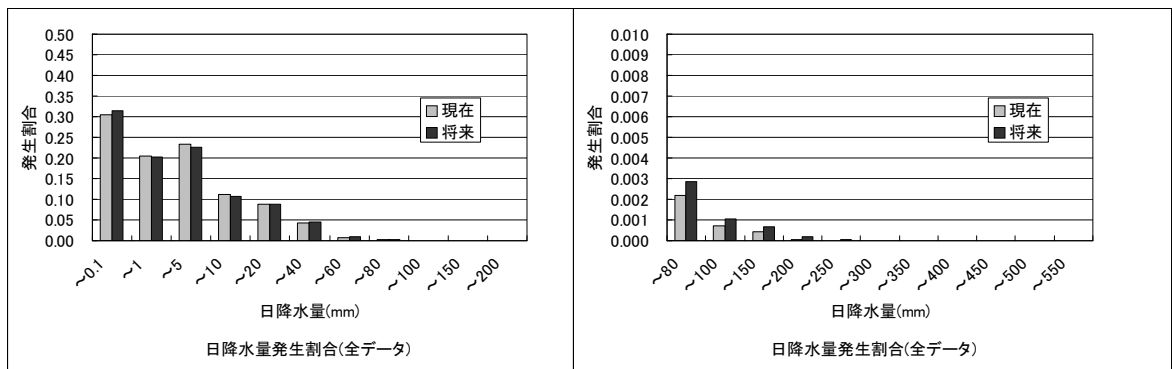
参考図－2.2 月降水量の平均と標準偏差の GCM20/地上アメダス



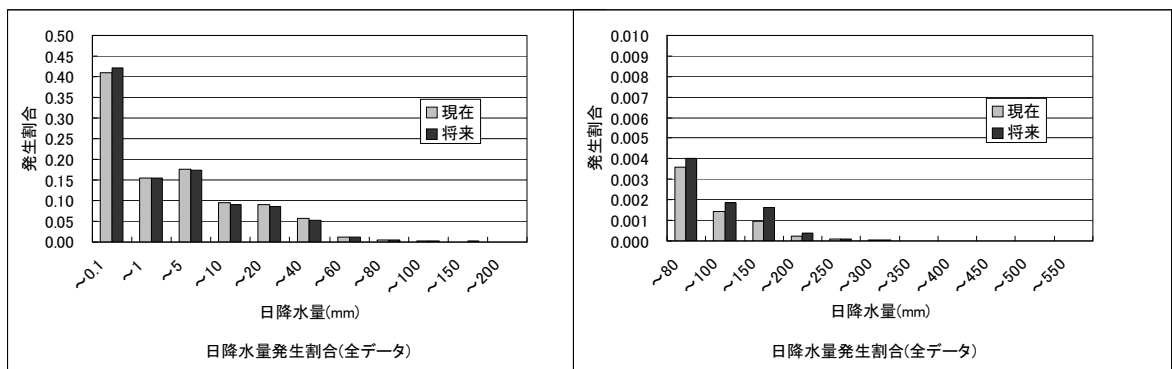
参考図－3 日降水量の GCM20/地上アメダス



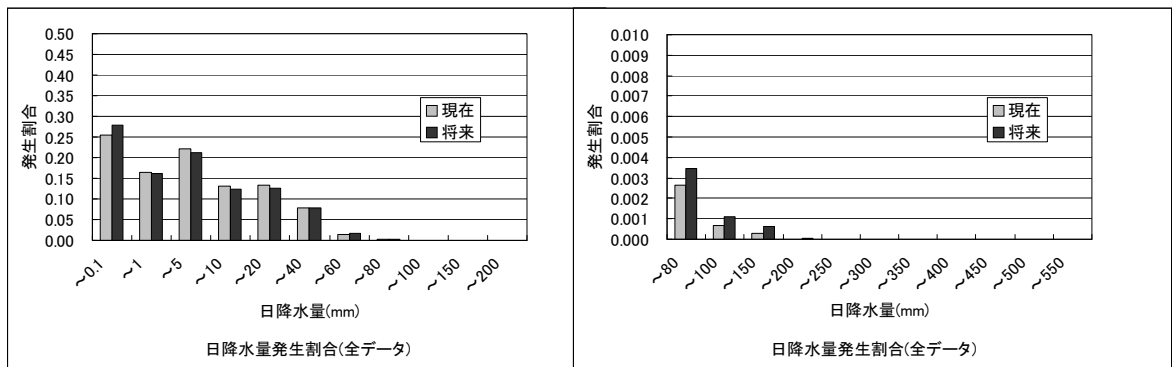
北海道



東北

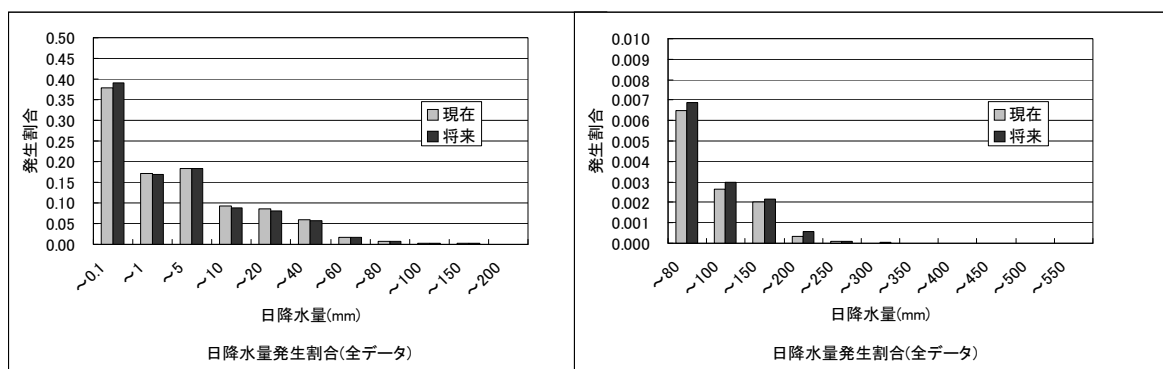


関東

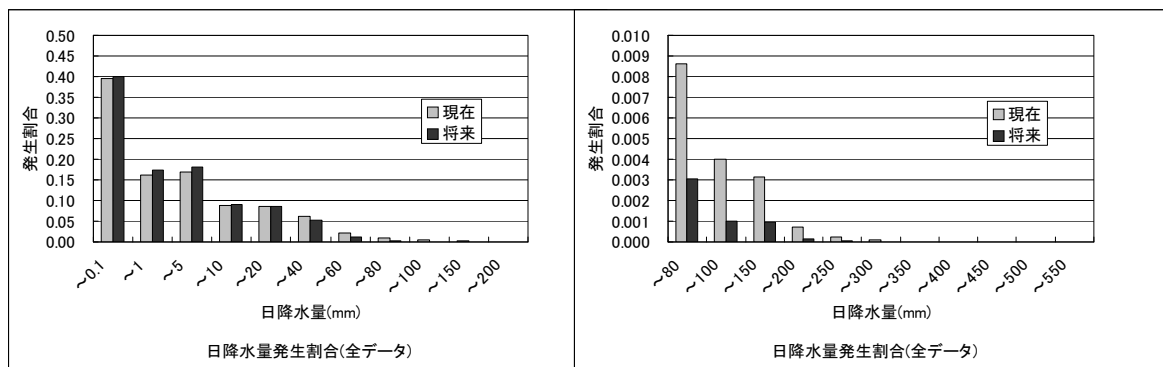


北陸

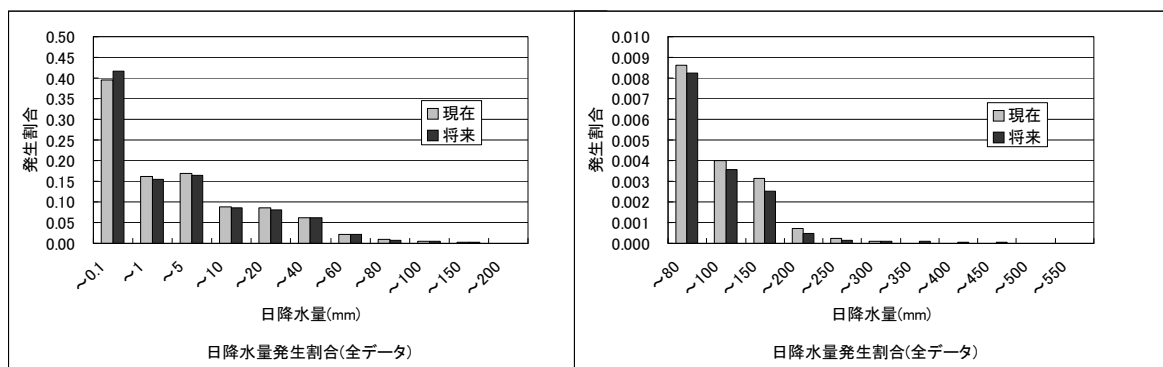
参考図－4.1 GCM20 の現在、将来（21 世紀末）の日降雨量の発生割合



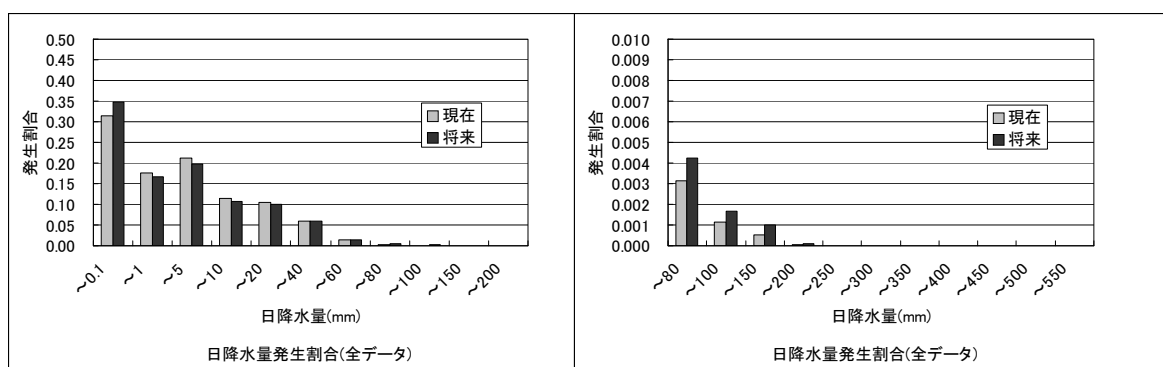
中部



近畿

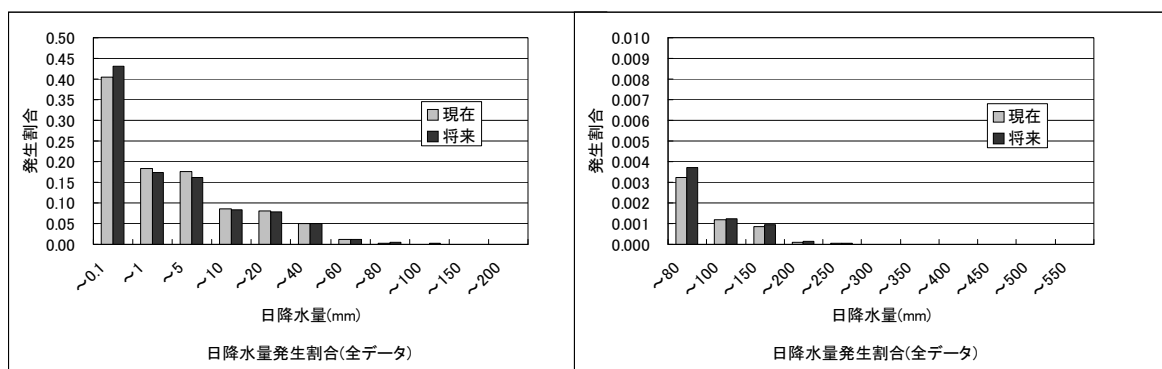


紀伊南部

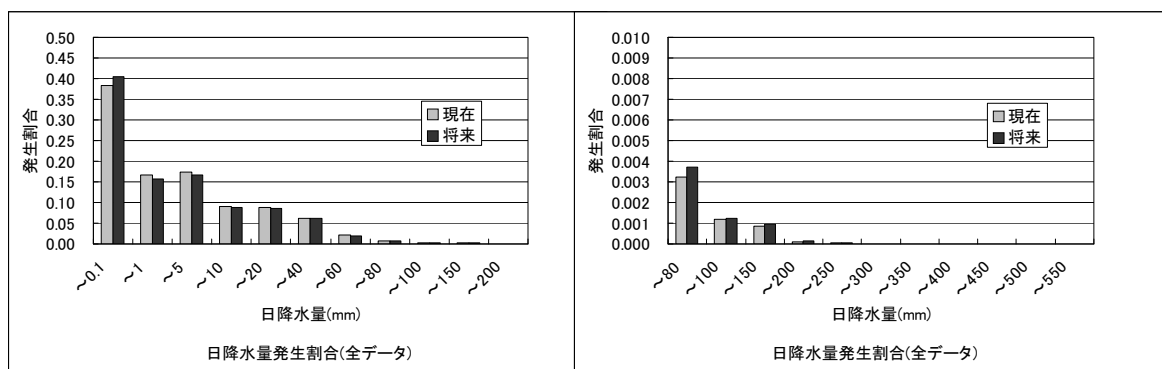


山陰

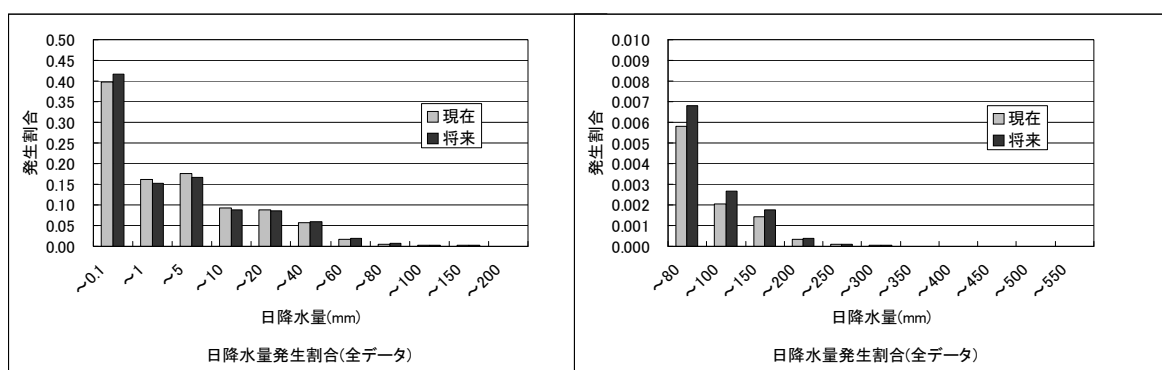
参考図－4.2 GCM20 の現在、将来（21 世紀末）の日降雨量の発生割合



瀬戸内

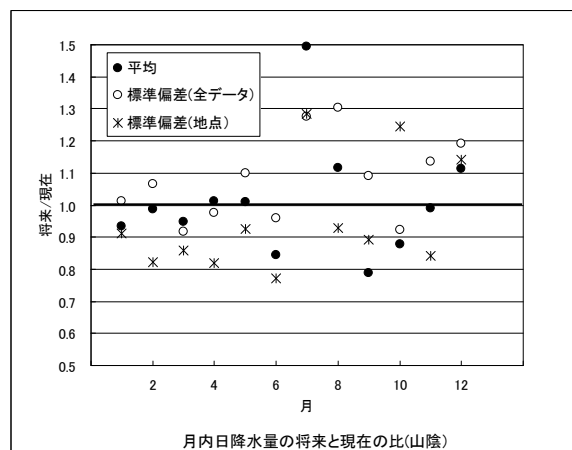
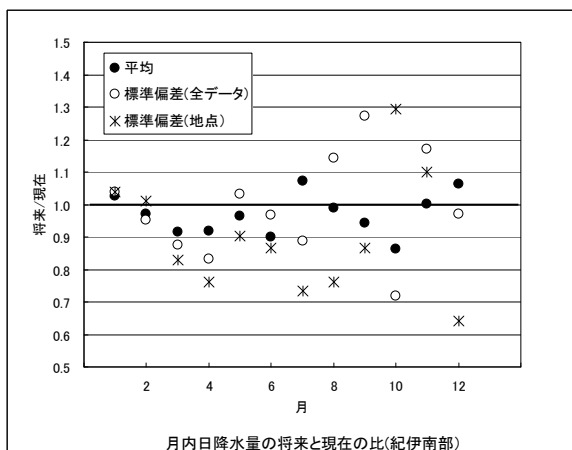
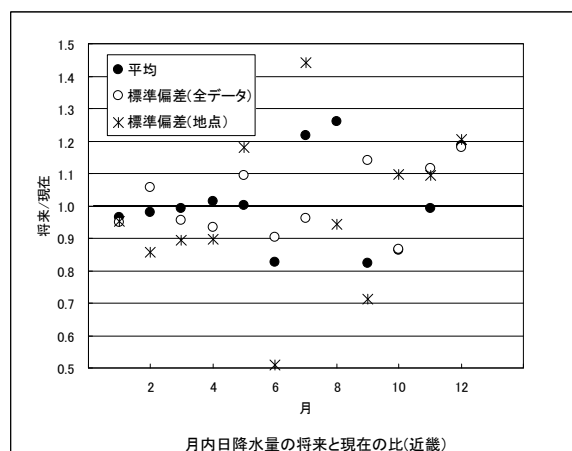
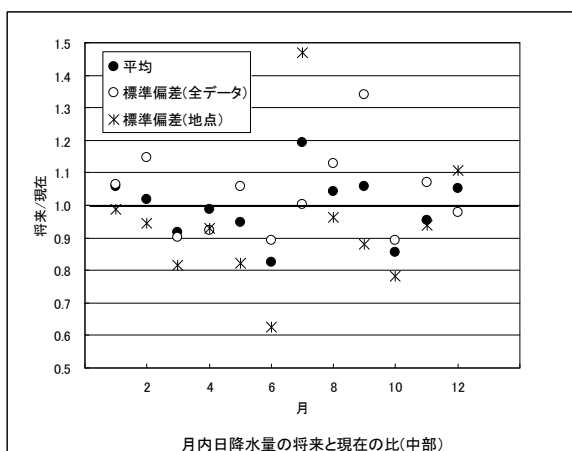
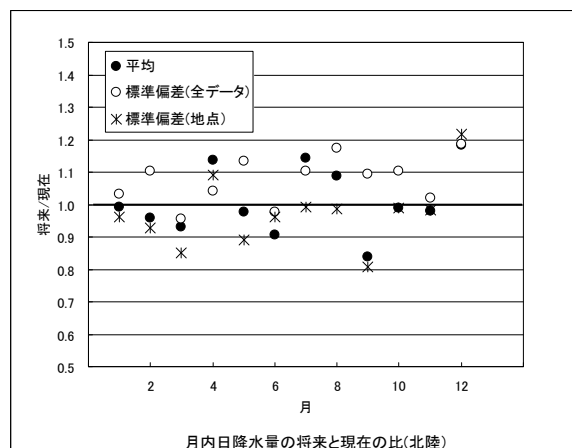
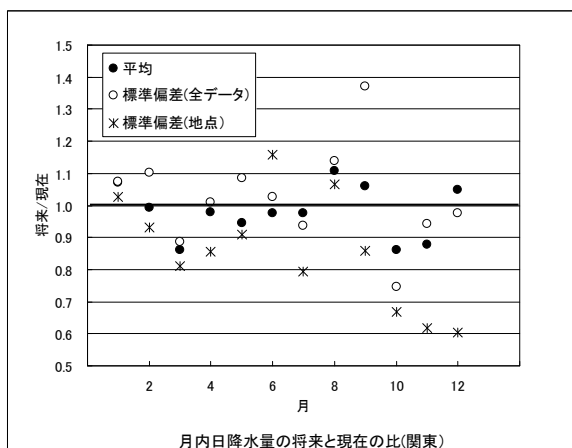
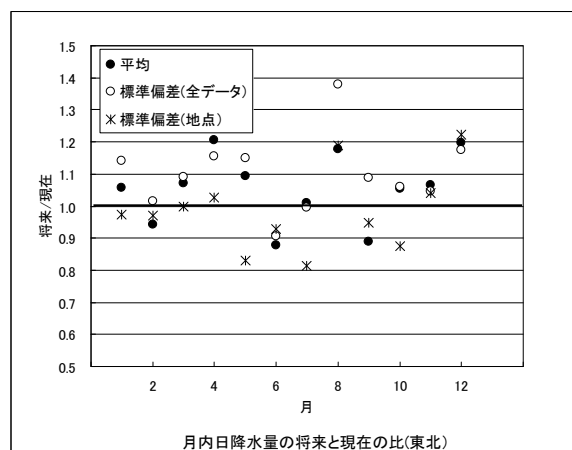
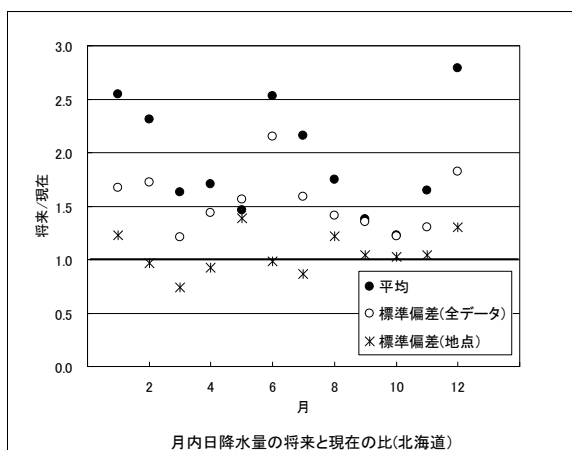


四国南部

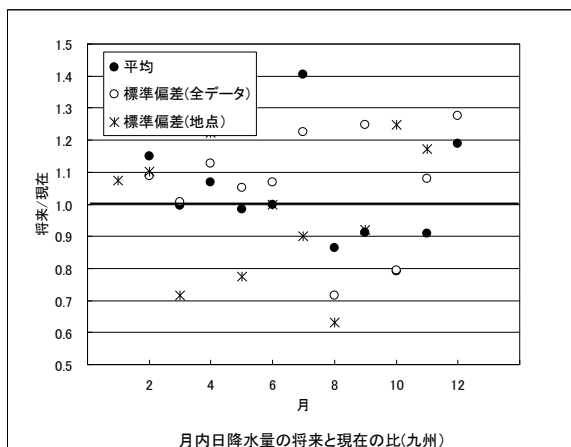
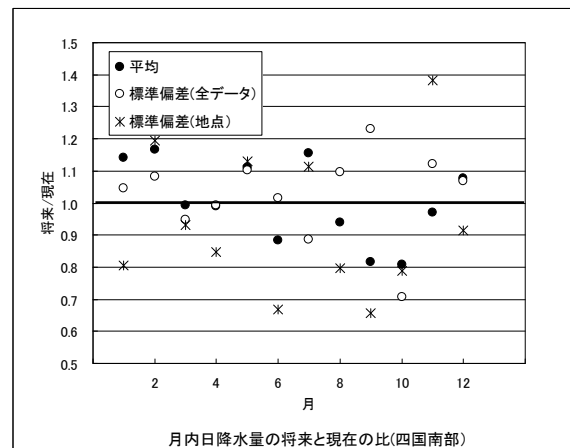
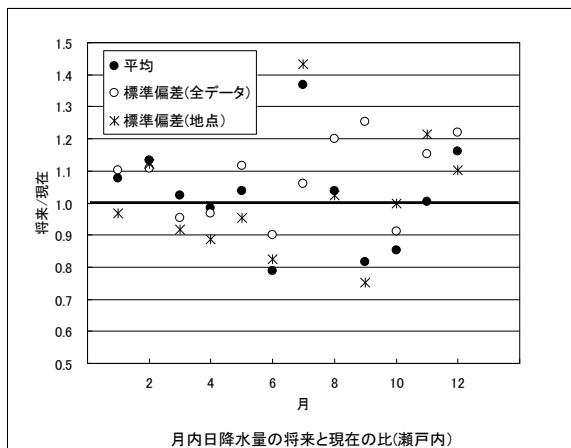


九州

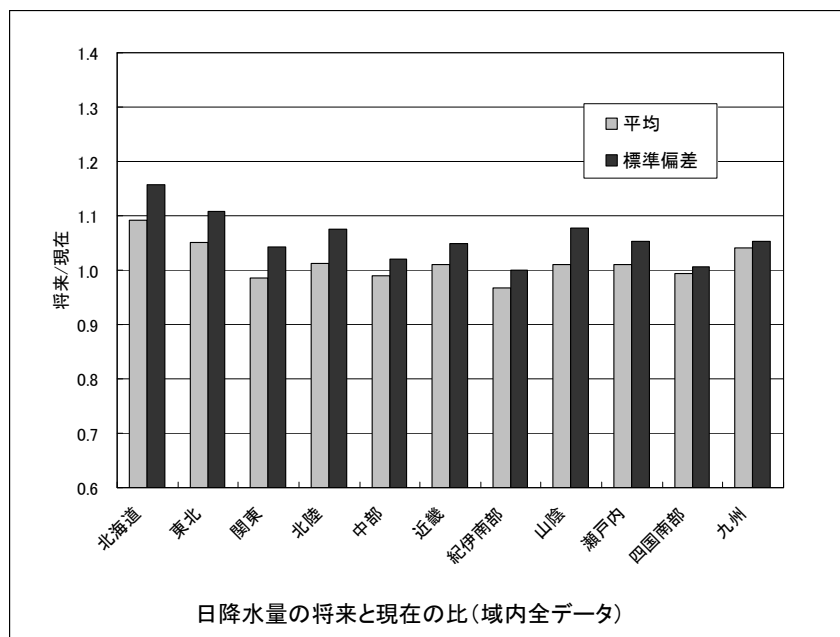
参考図－4.3 GCM20 の現在、将来（21 世紀末）の日降雨量の発生割合



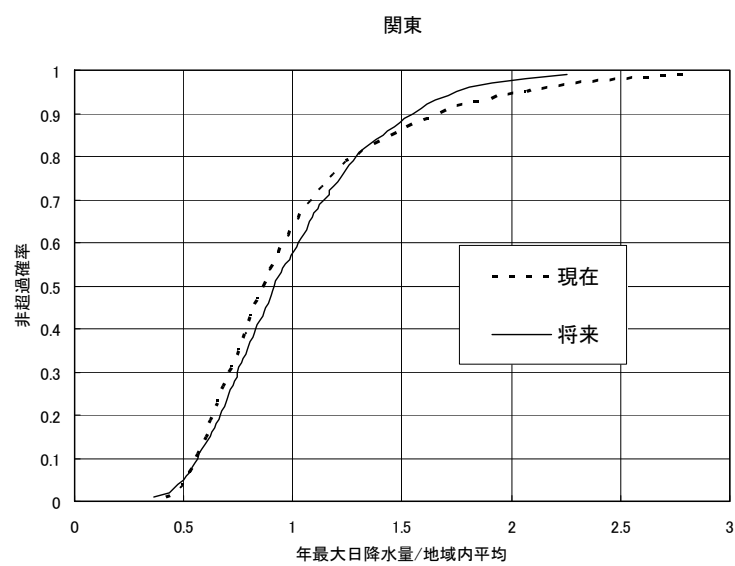
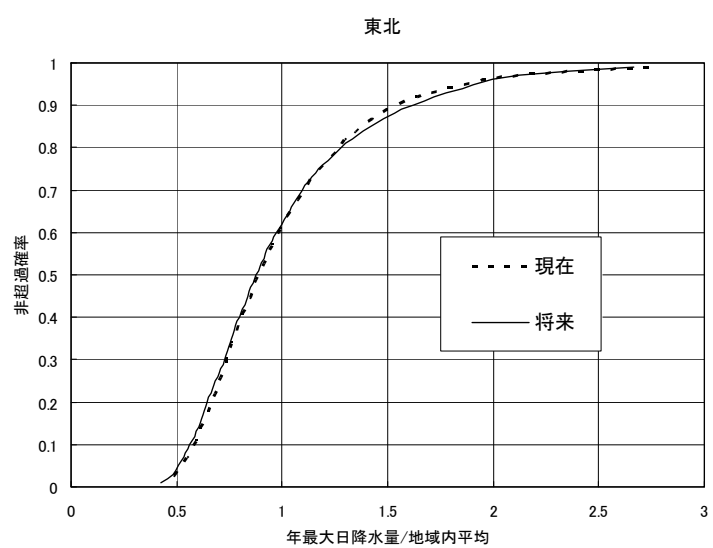
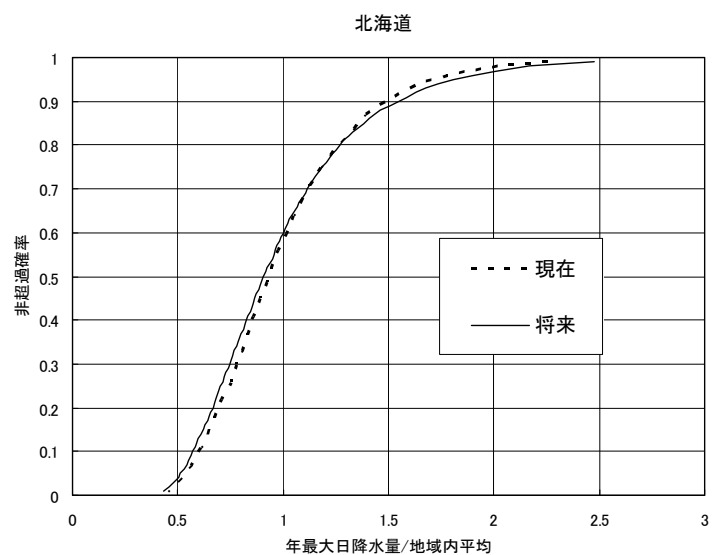
参考図－5.1 月降水量の平均と標準偏差の将来/現在 (GCM20)



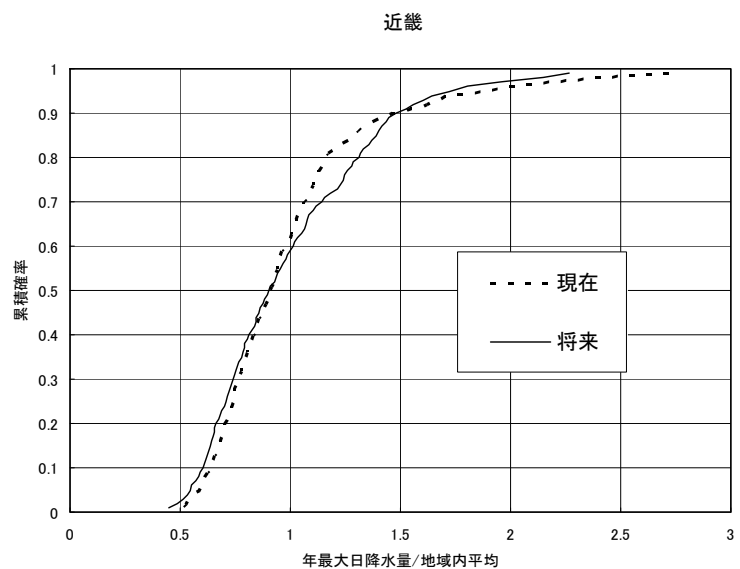
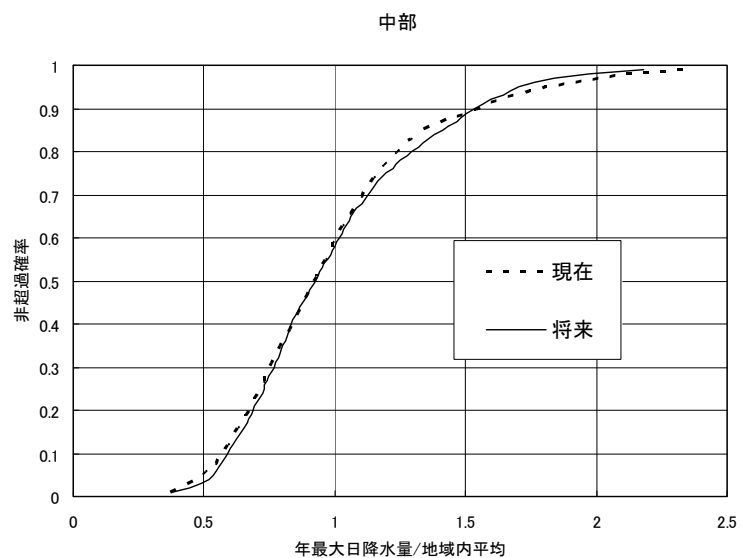
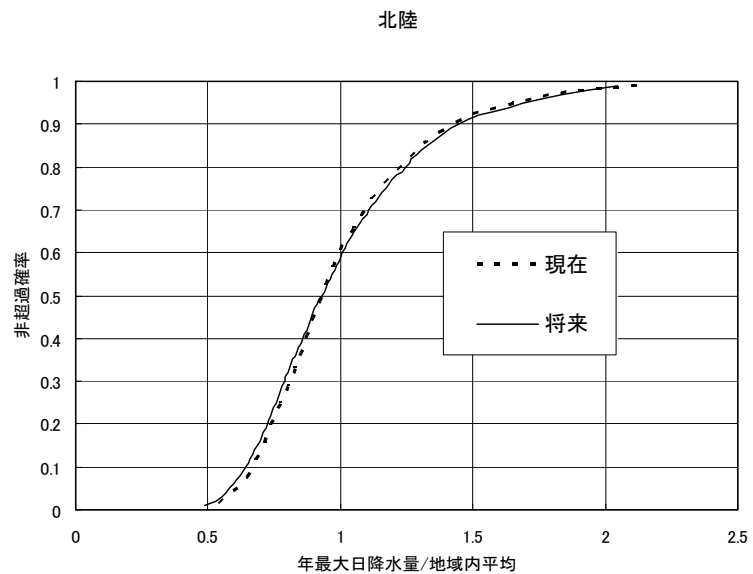
参考図－5.2 月降水量の平均と標準偏差の将来/現在 (GCM20)



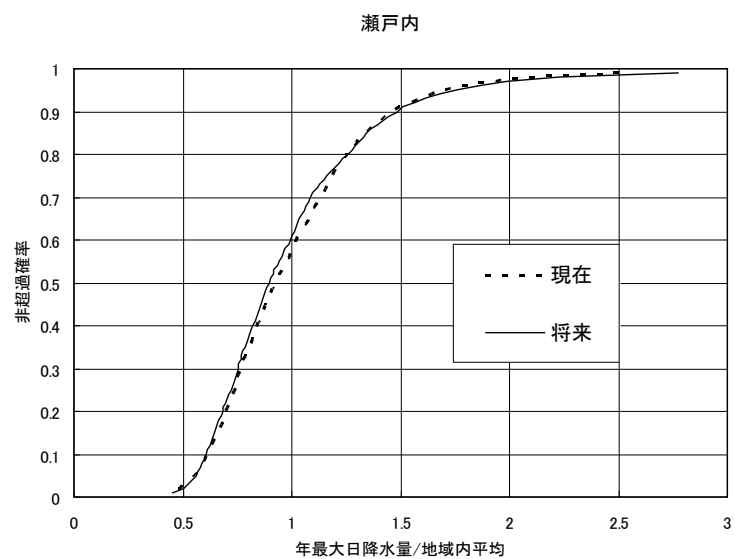
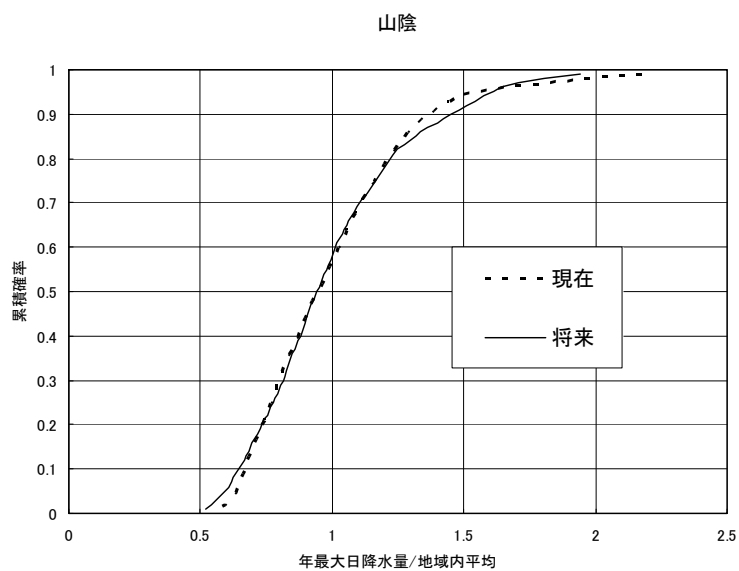
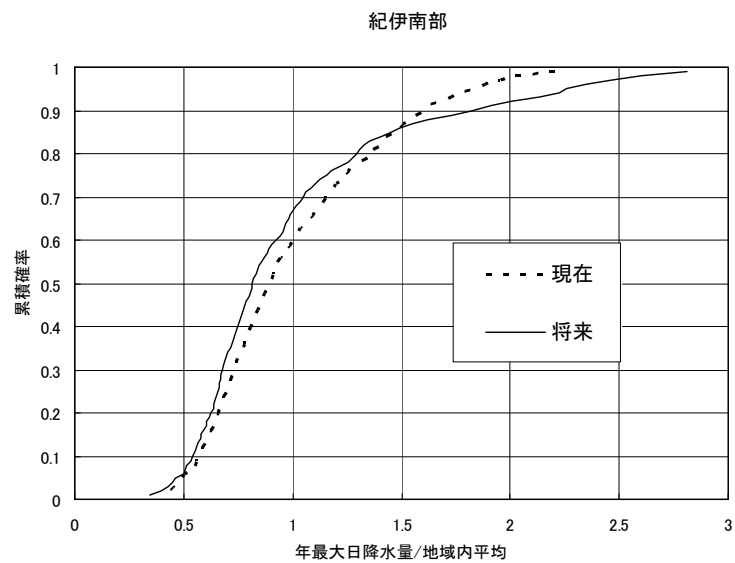
参考図－6 日降水量の現在と将来の比 (GCM20)



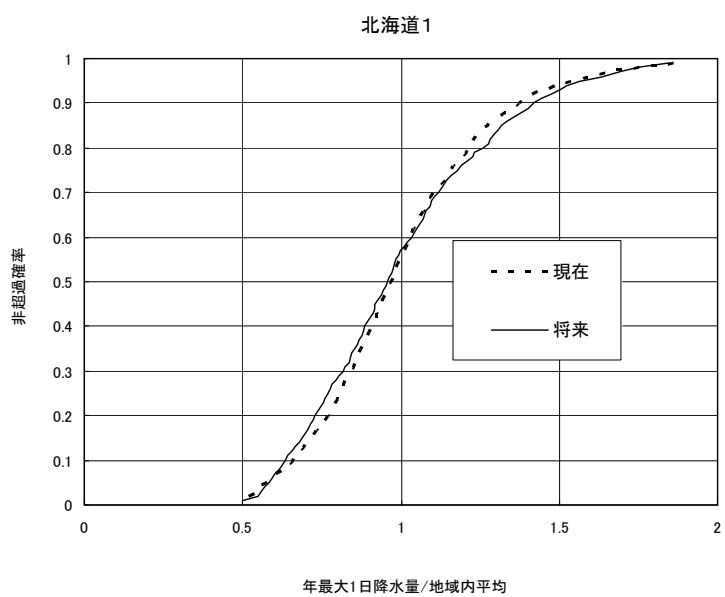
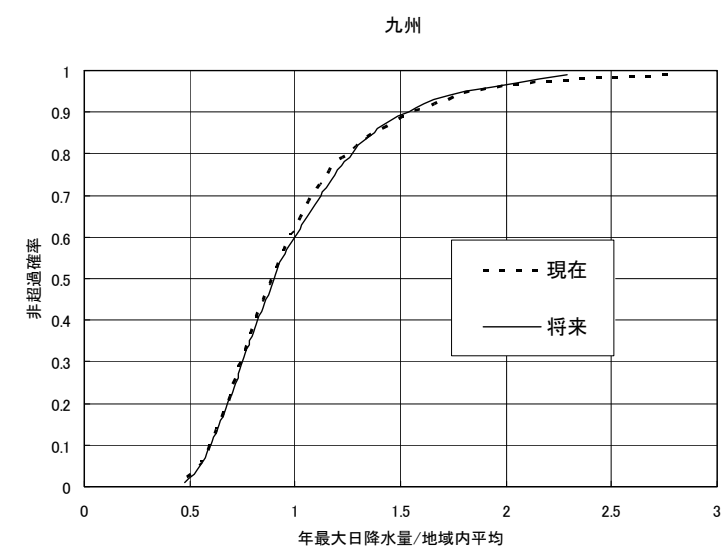
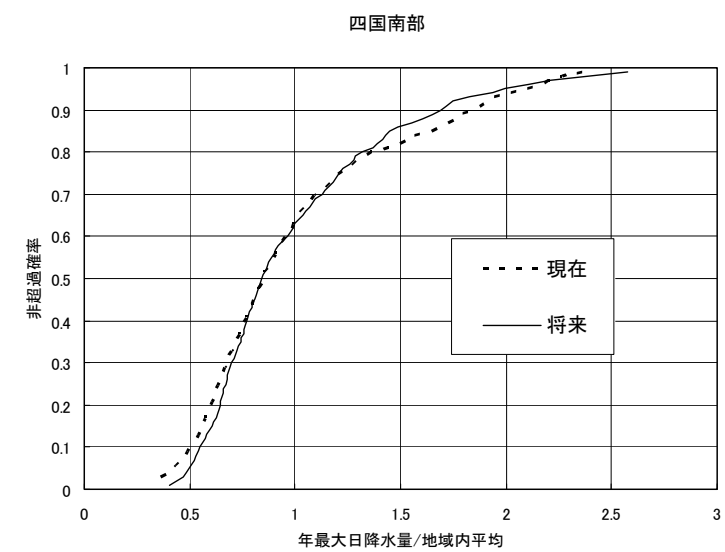
参考図－7.1 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大1日降雨量）



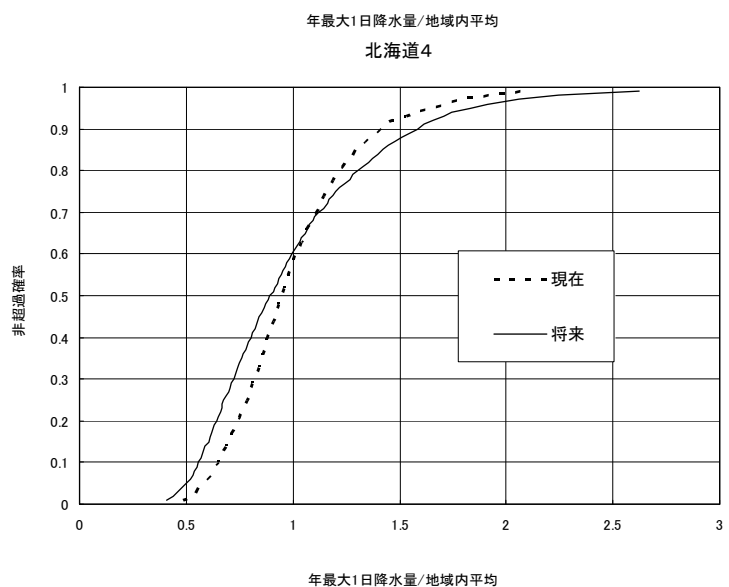
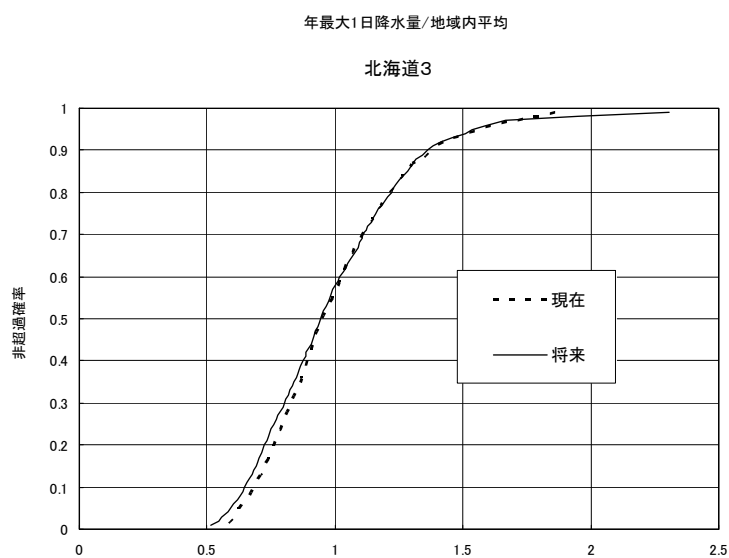
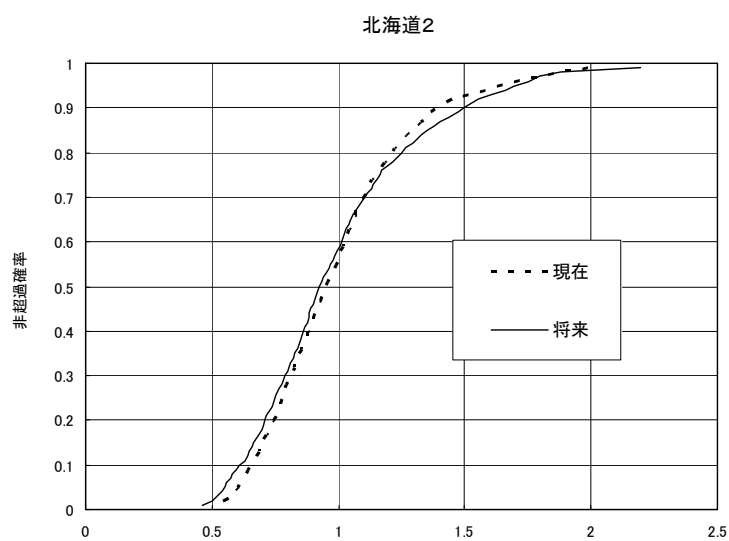
参考図－7.2 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大1日降雨量）



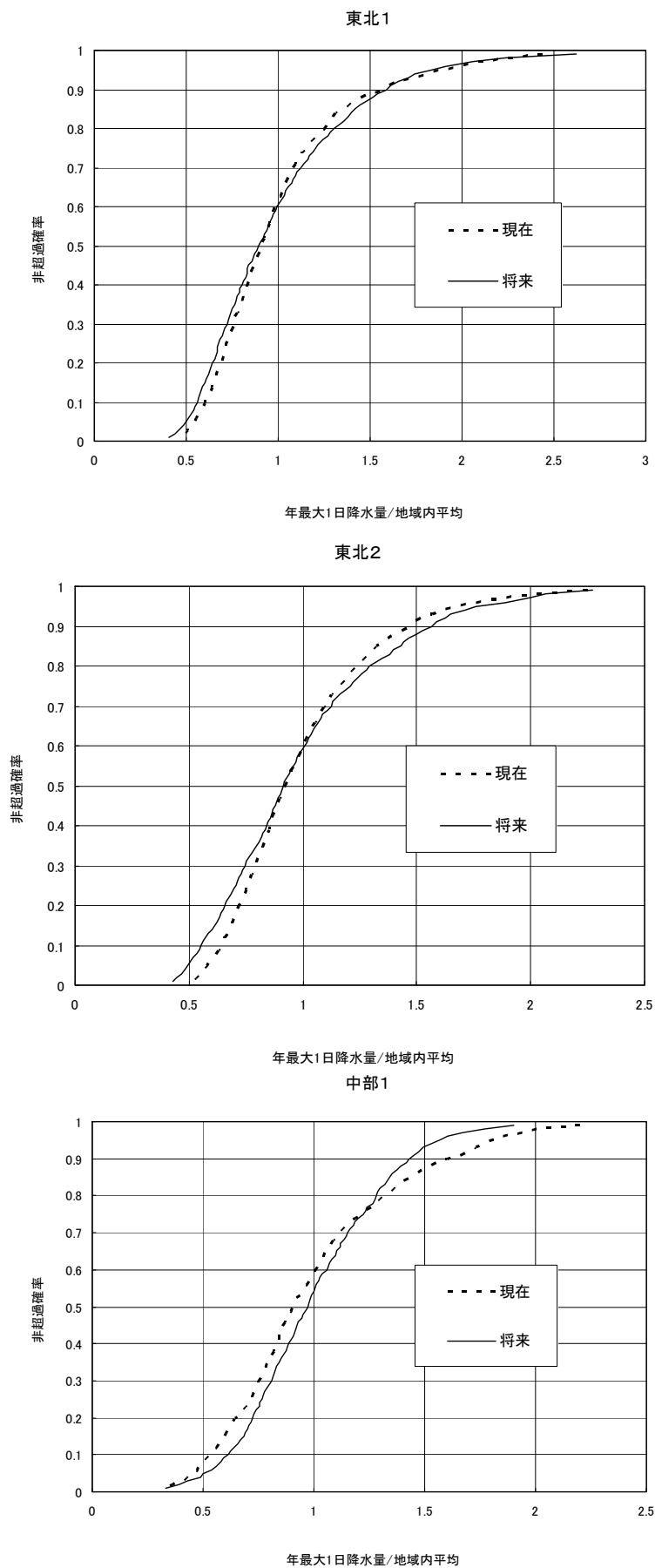
参考図－7.3 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大1日降雨量）



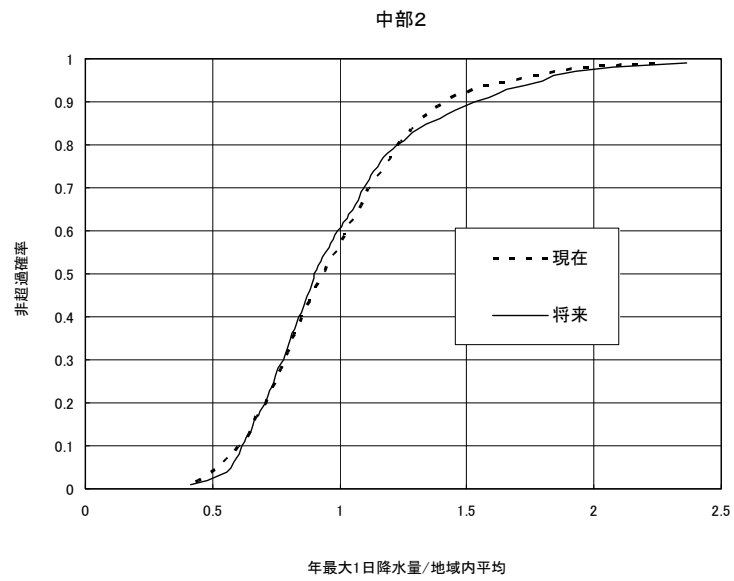
参考図－7.4 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大1日降雨量）



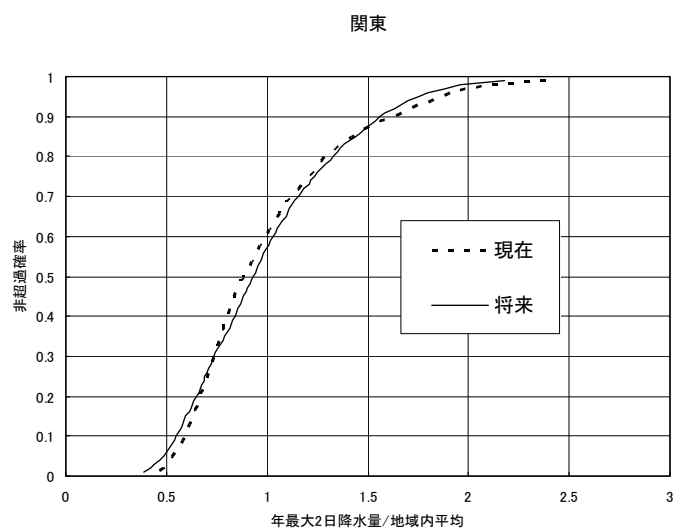
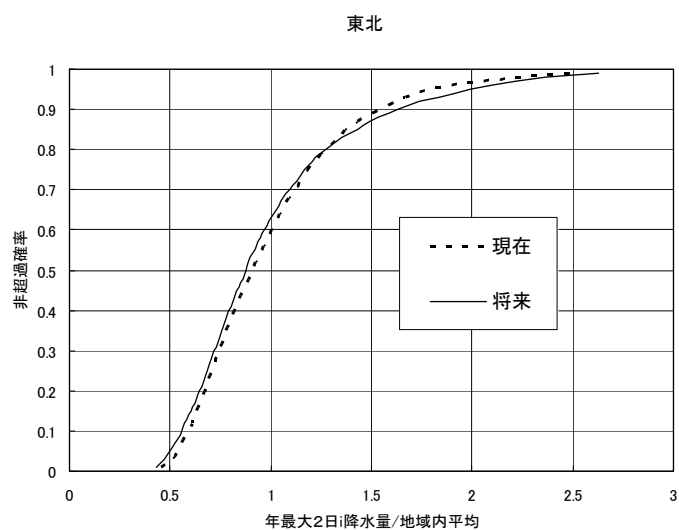
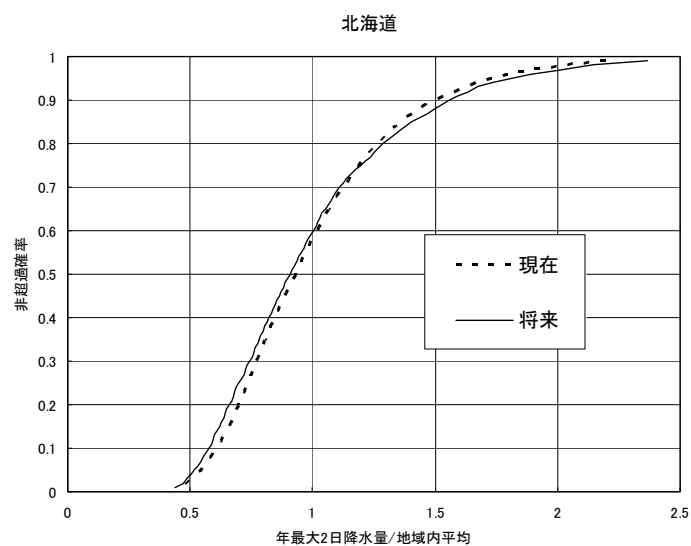
参考図－7.5 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大1日降雨量）



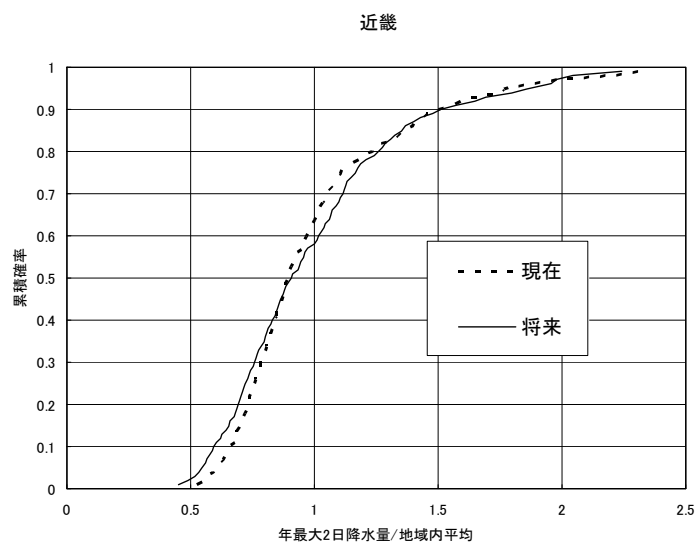
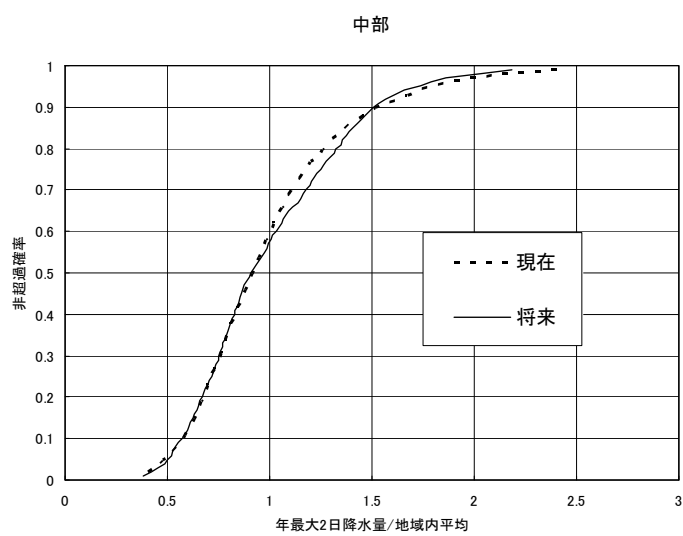
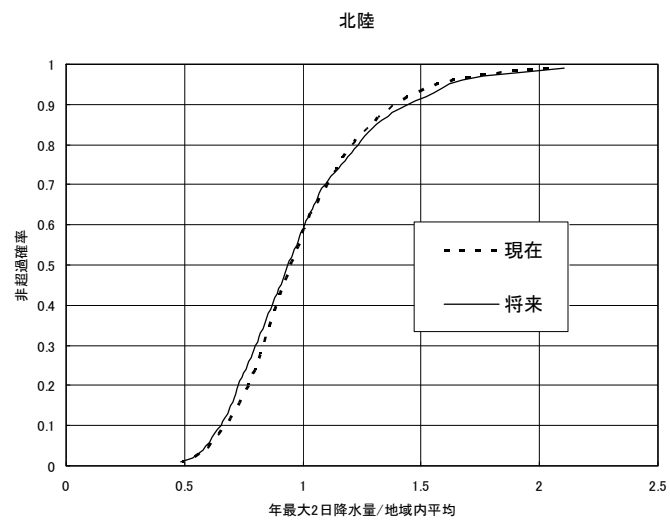
参考図－7.6 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大1日降雨量）



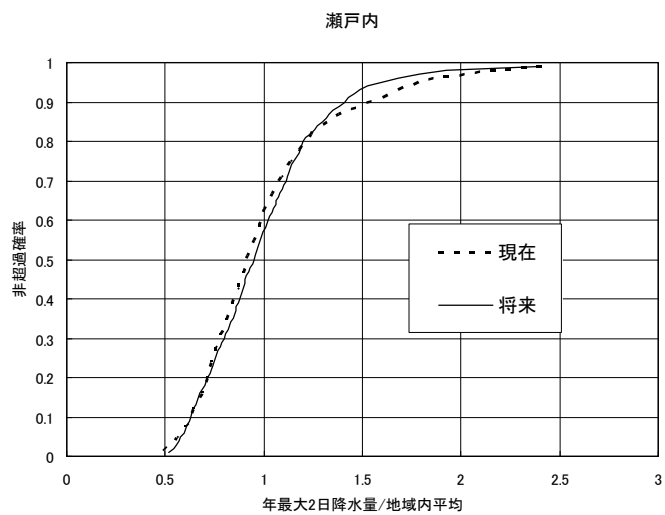
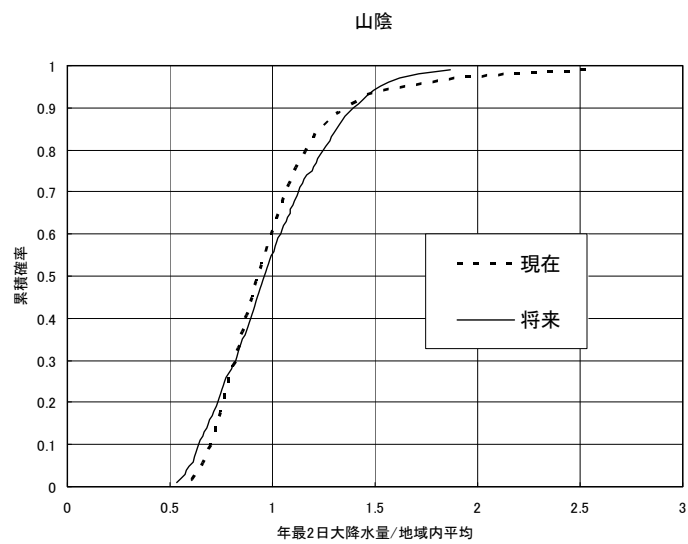
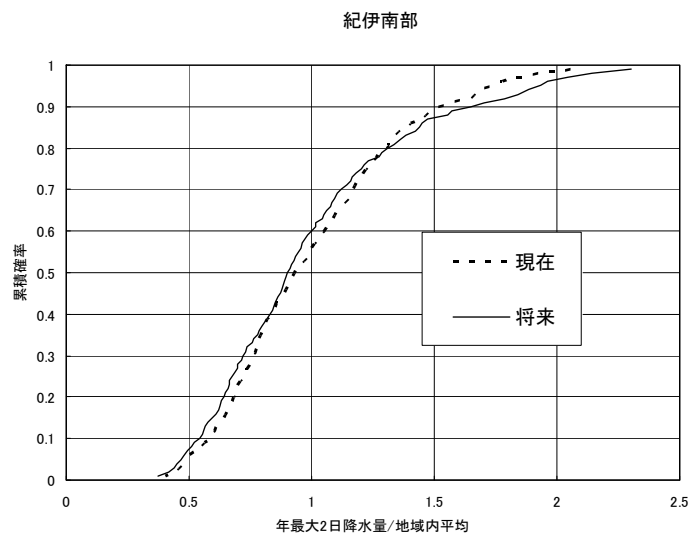
参考図－7.7 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大1日降雨量）



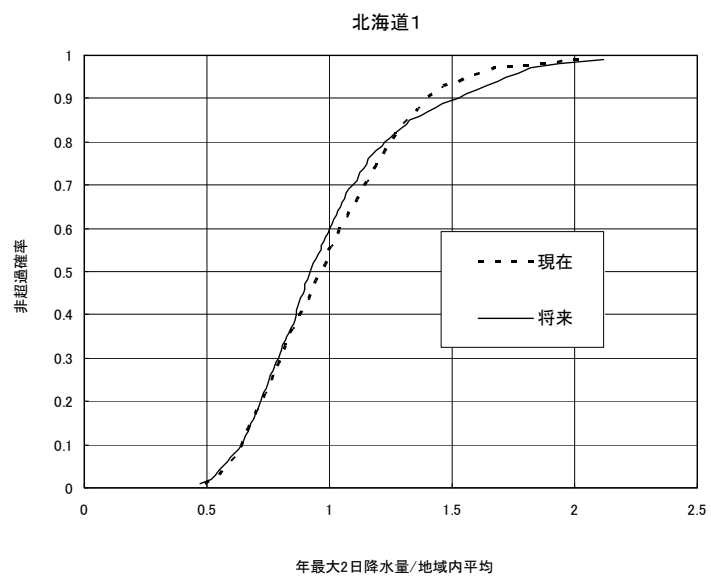
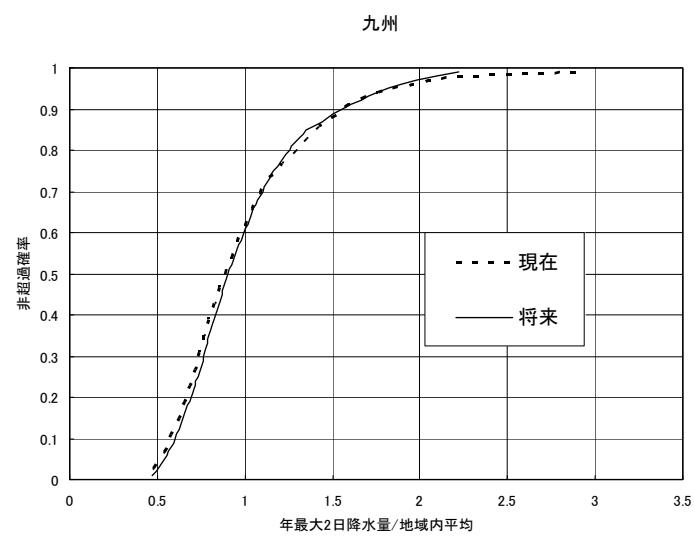
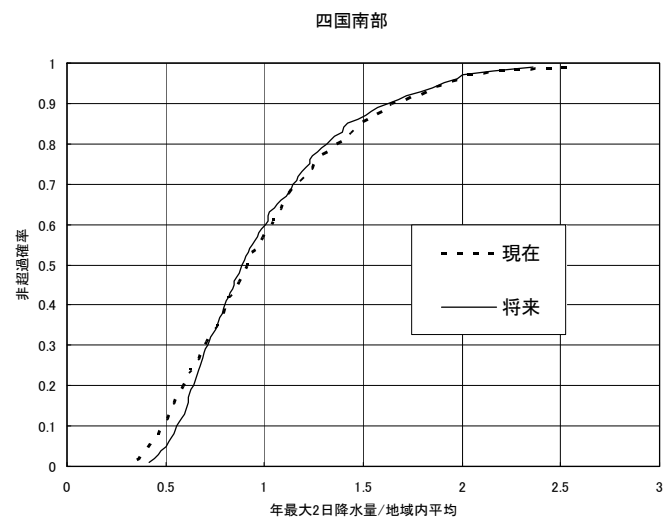
参考図－8.1 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大2日降雨量）



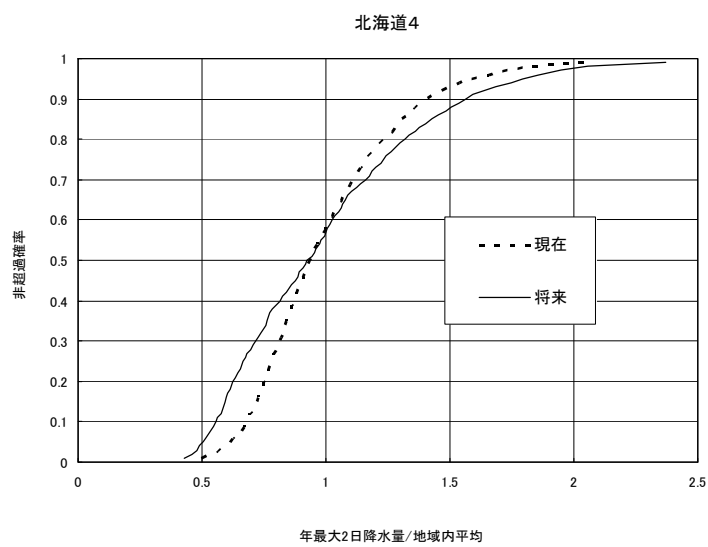
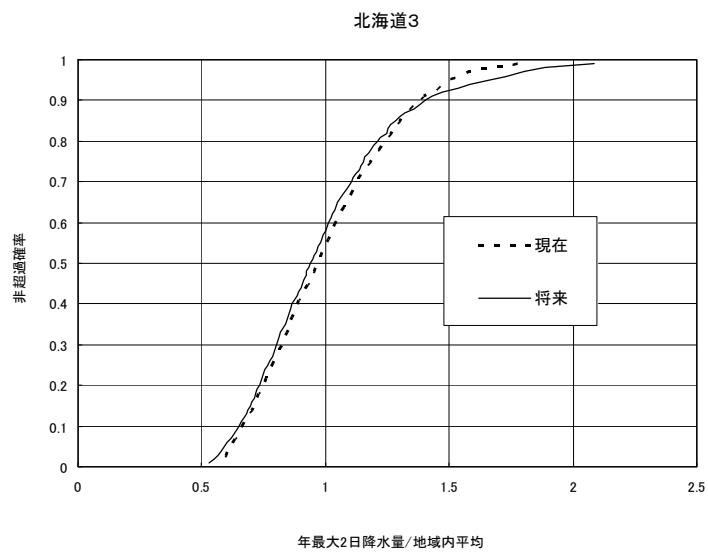
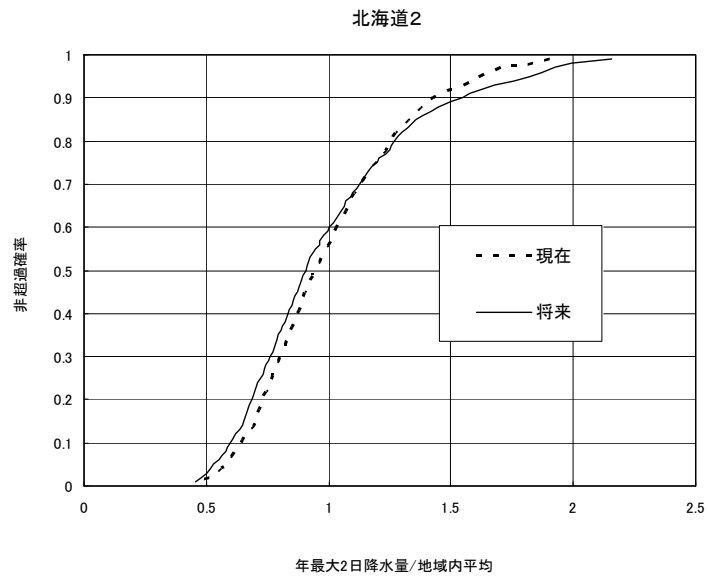
参考図－8.2 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大2日降雨量）



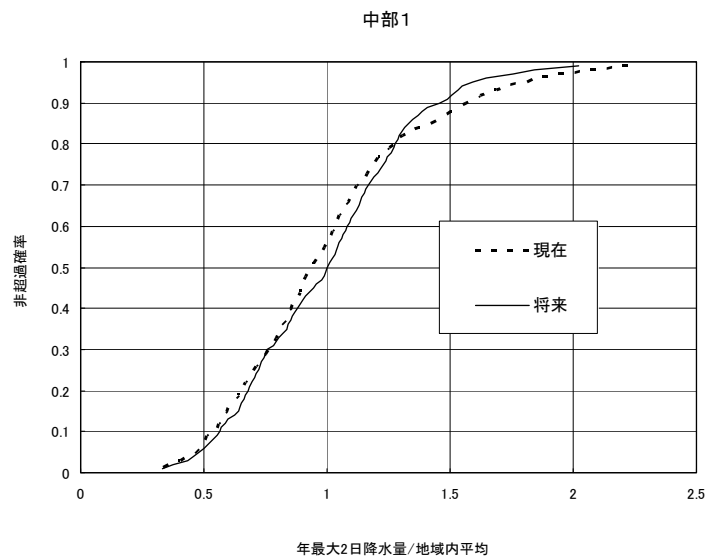
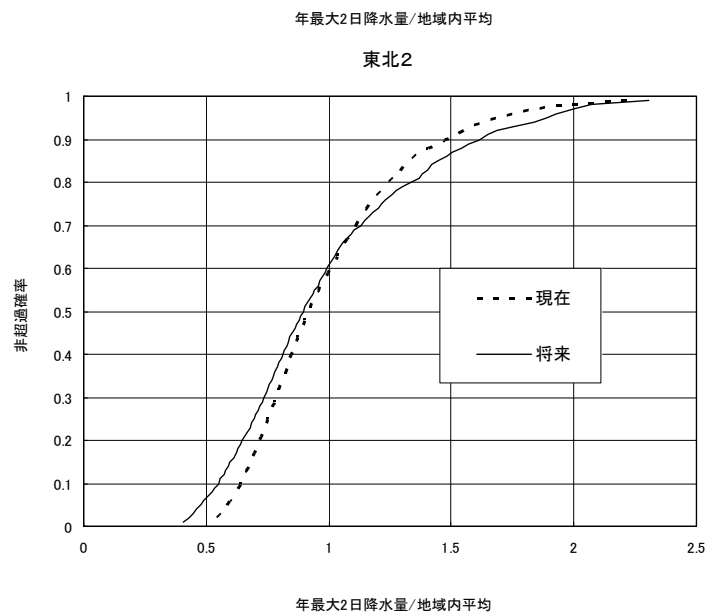
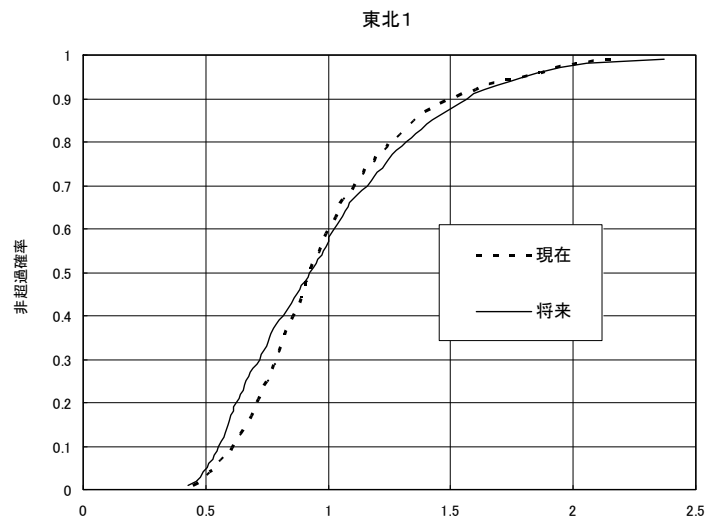
参考図－8.3 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大2日降雨量）



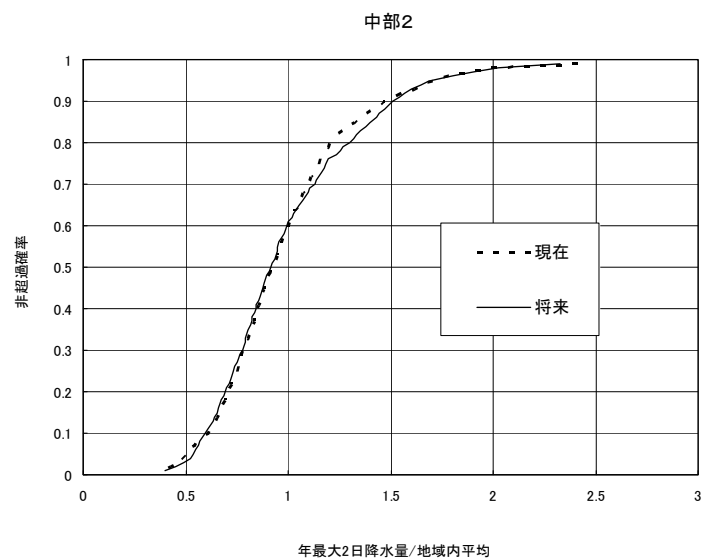
参考図－8.4 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大2日降雨量）



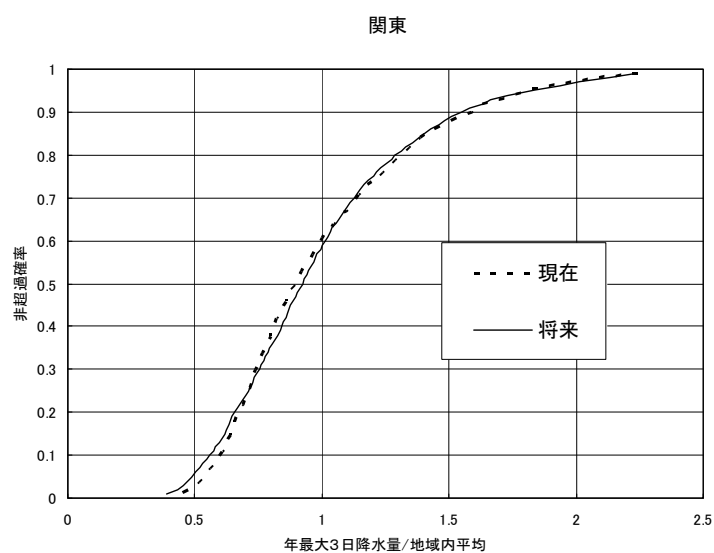
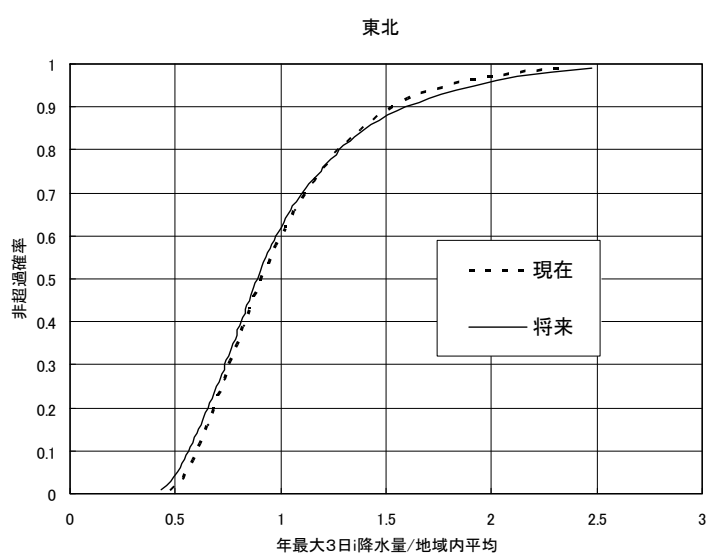
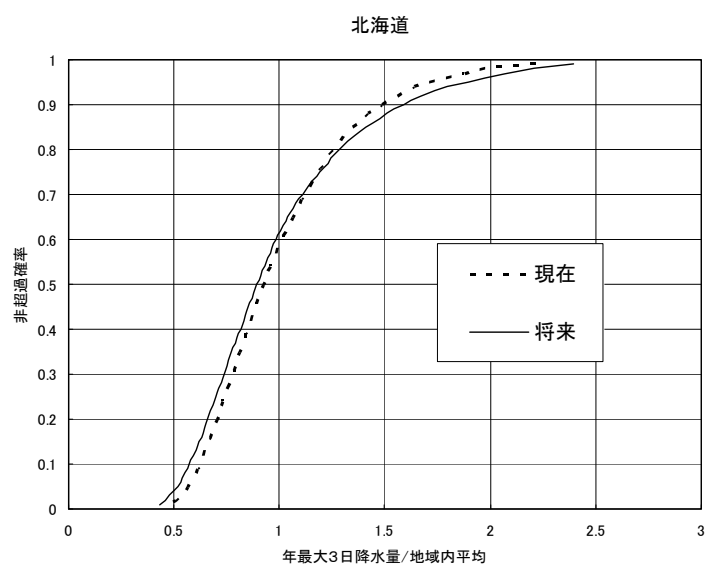
参考図－8.5 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大2日降雨量）



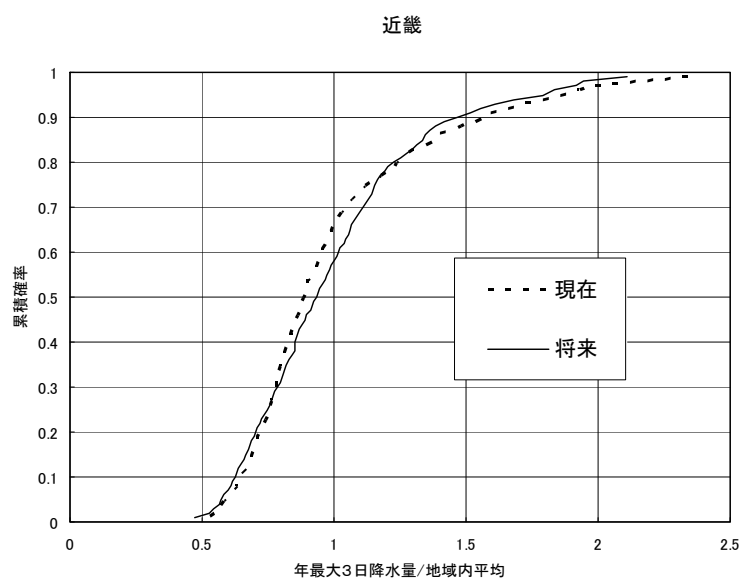
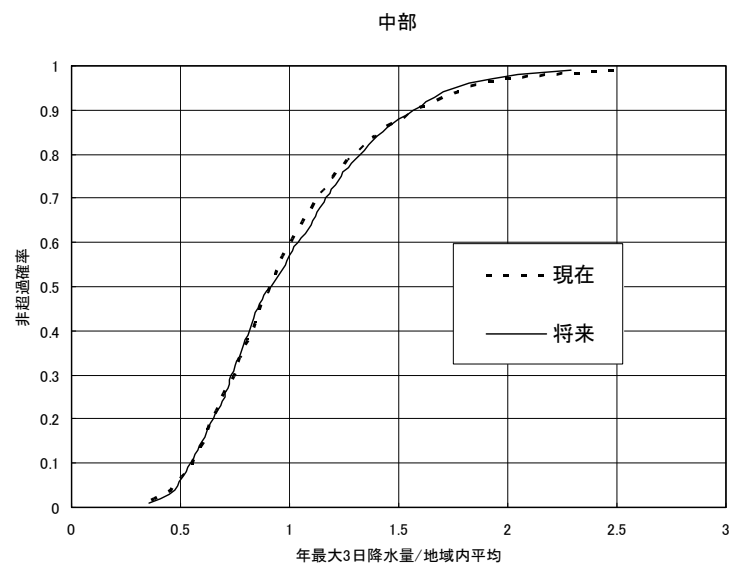
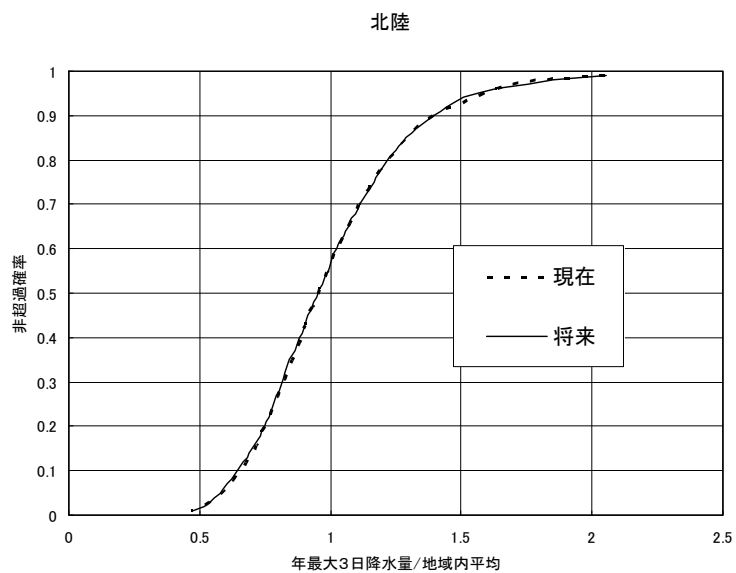
参考図－8.6 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大2日降雨量）



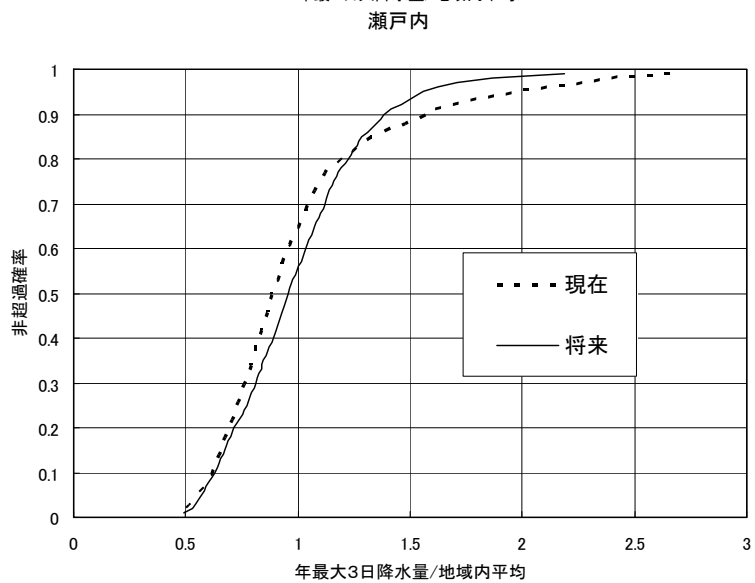
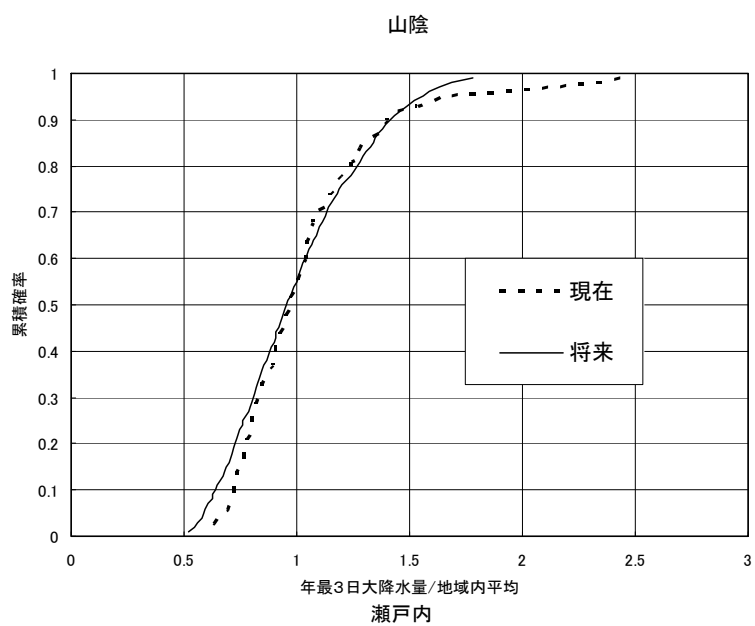
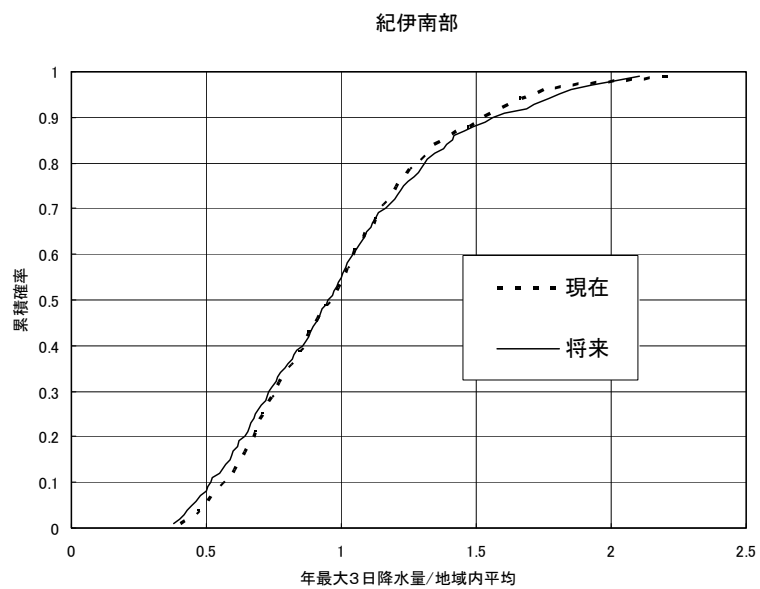
参考図－8.7 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大2日降雨量）



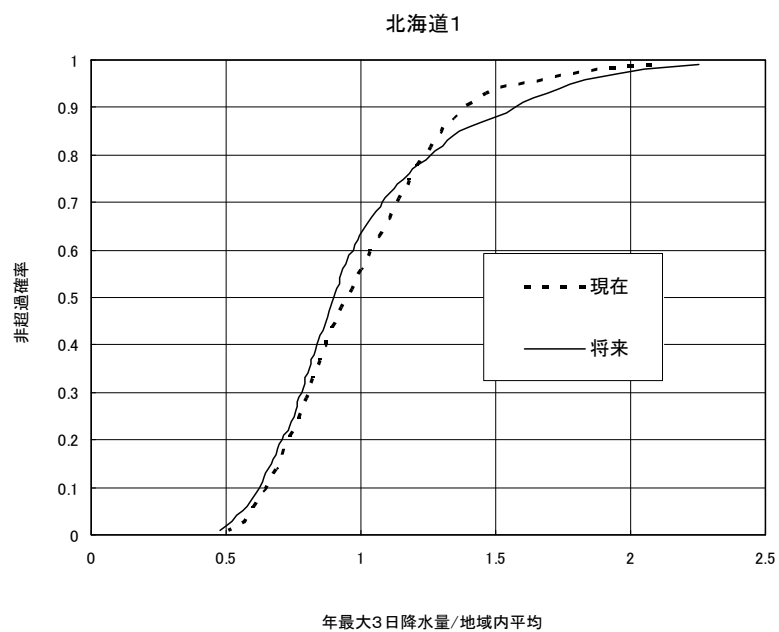
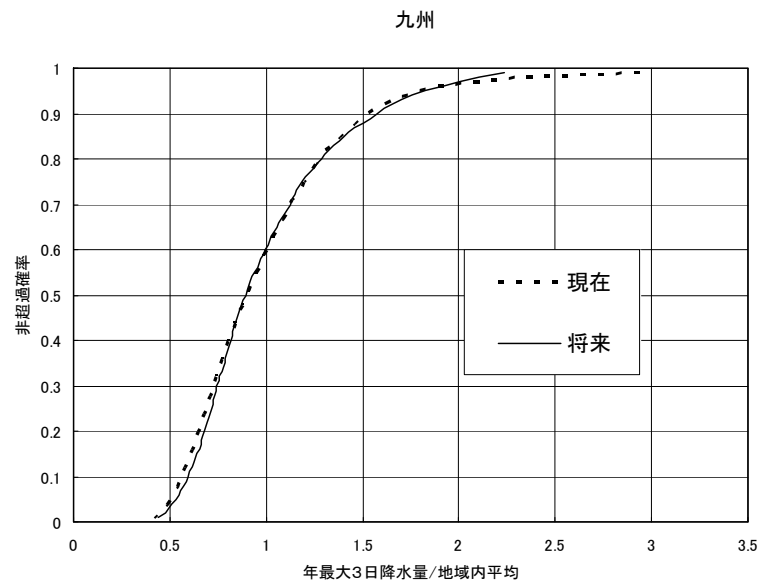
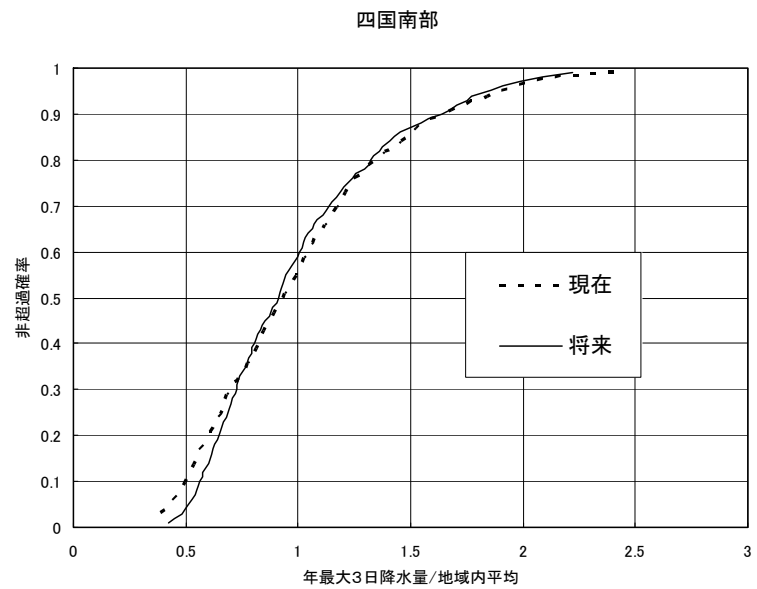
参考図－9.1 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大3日降雨量）



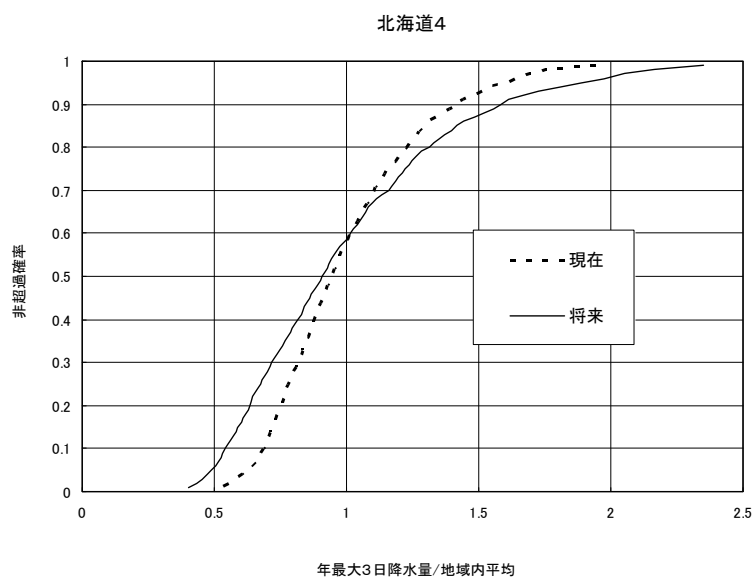
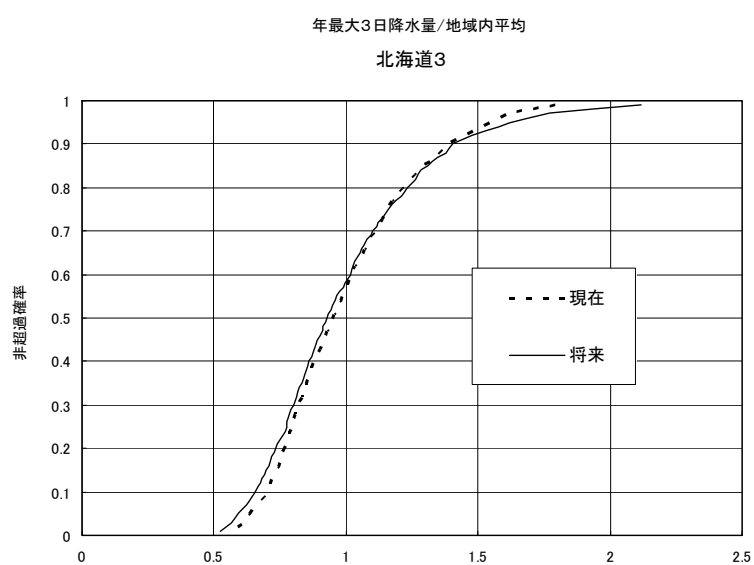
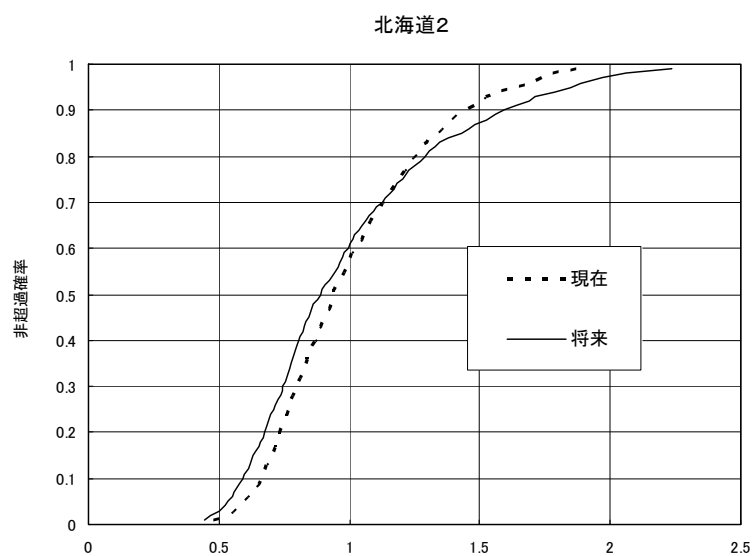
参考図－9.2 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大3日降雨量）



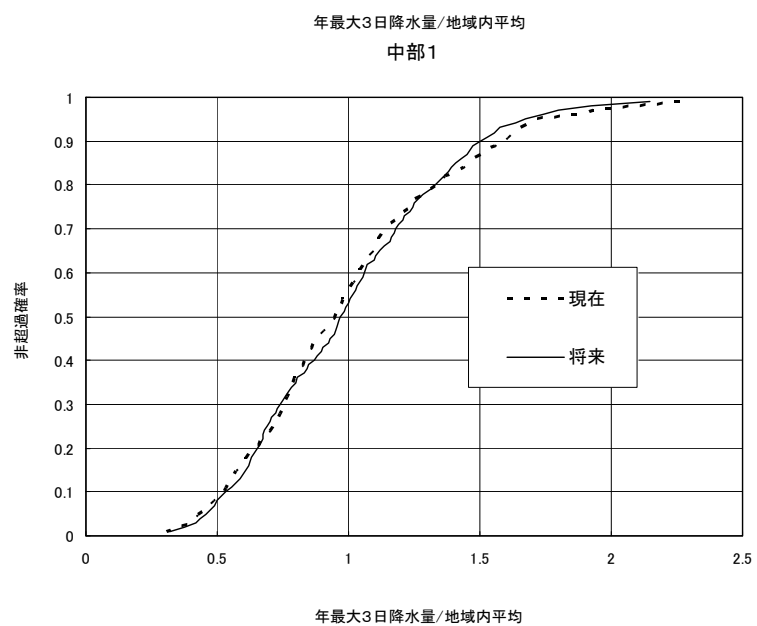
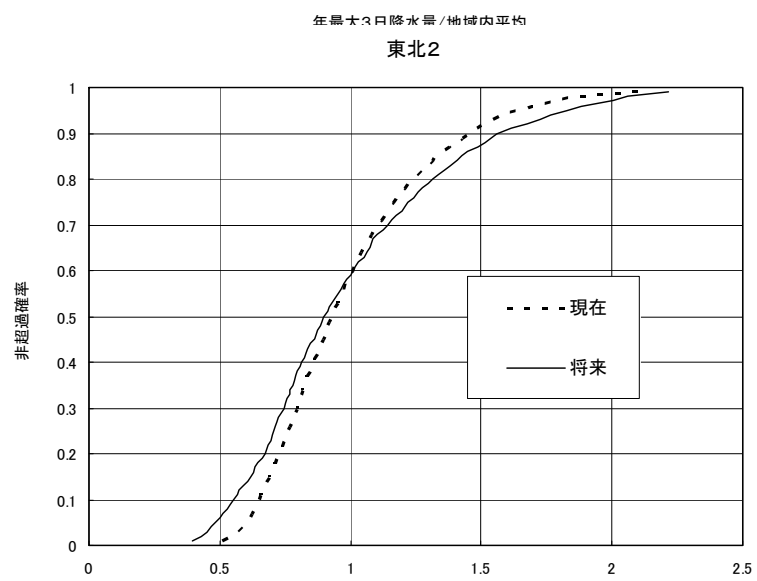
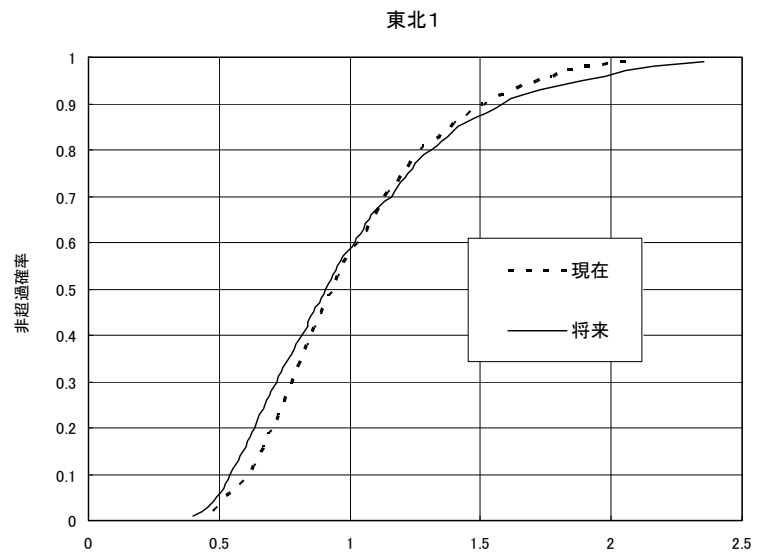
参考図－9.3 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大3日降雨量）



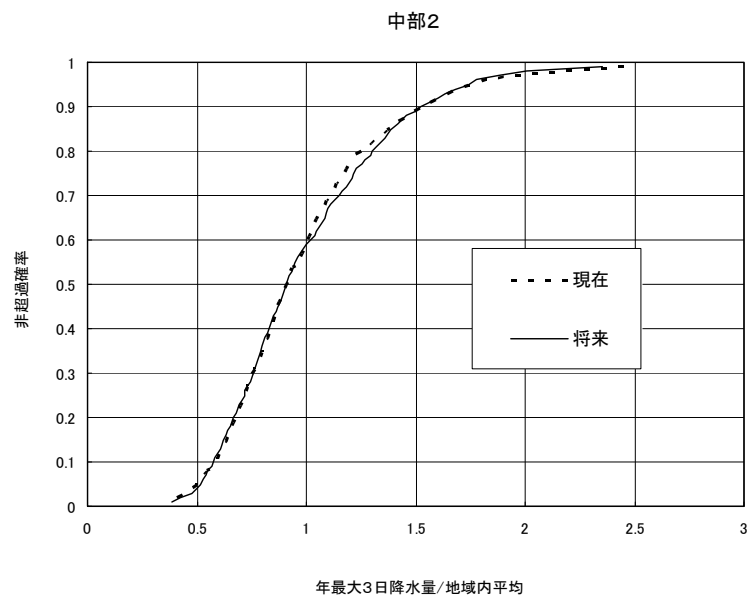
参考図－9.4 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大3日降雨量）



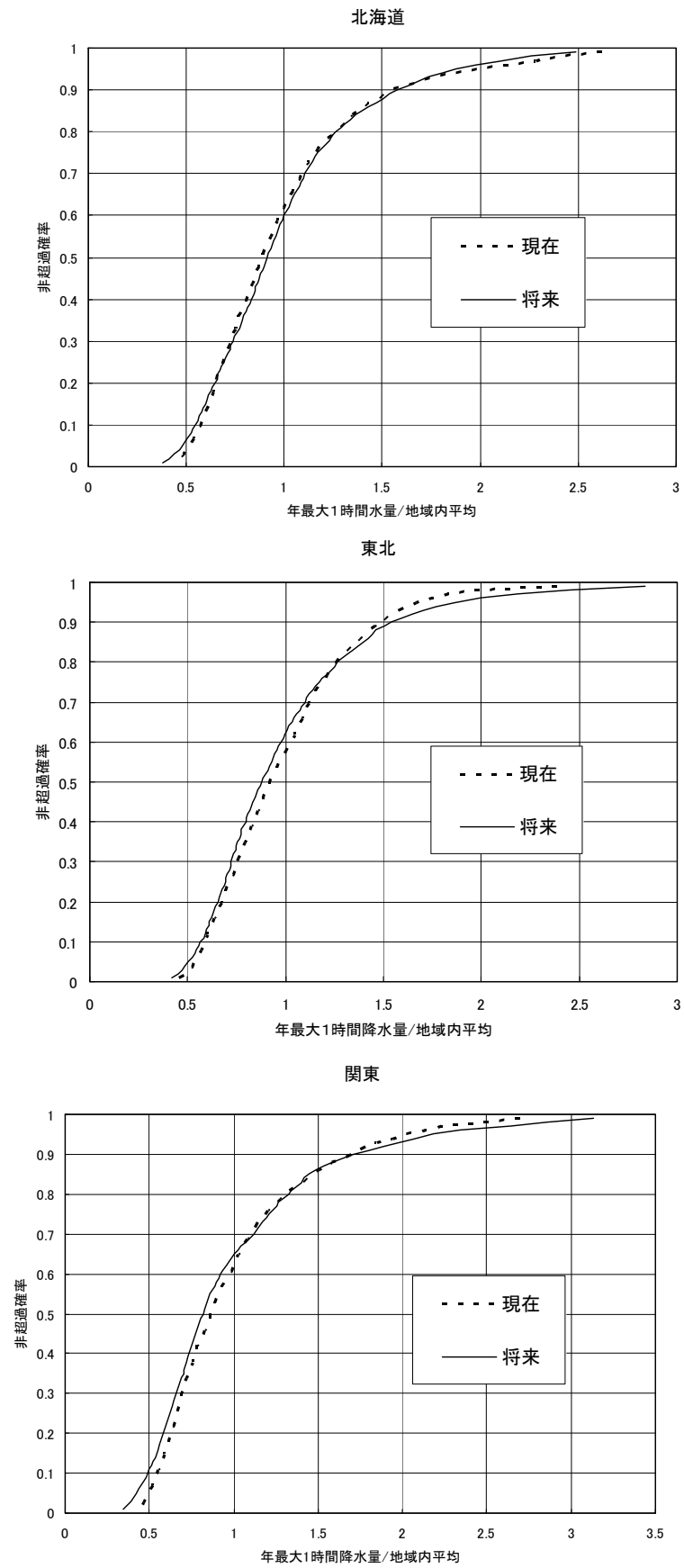
参考図－9.5 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大3日降雨量）



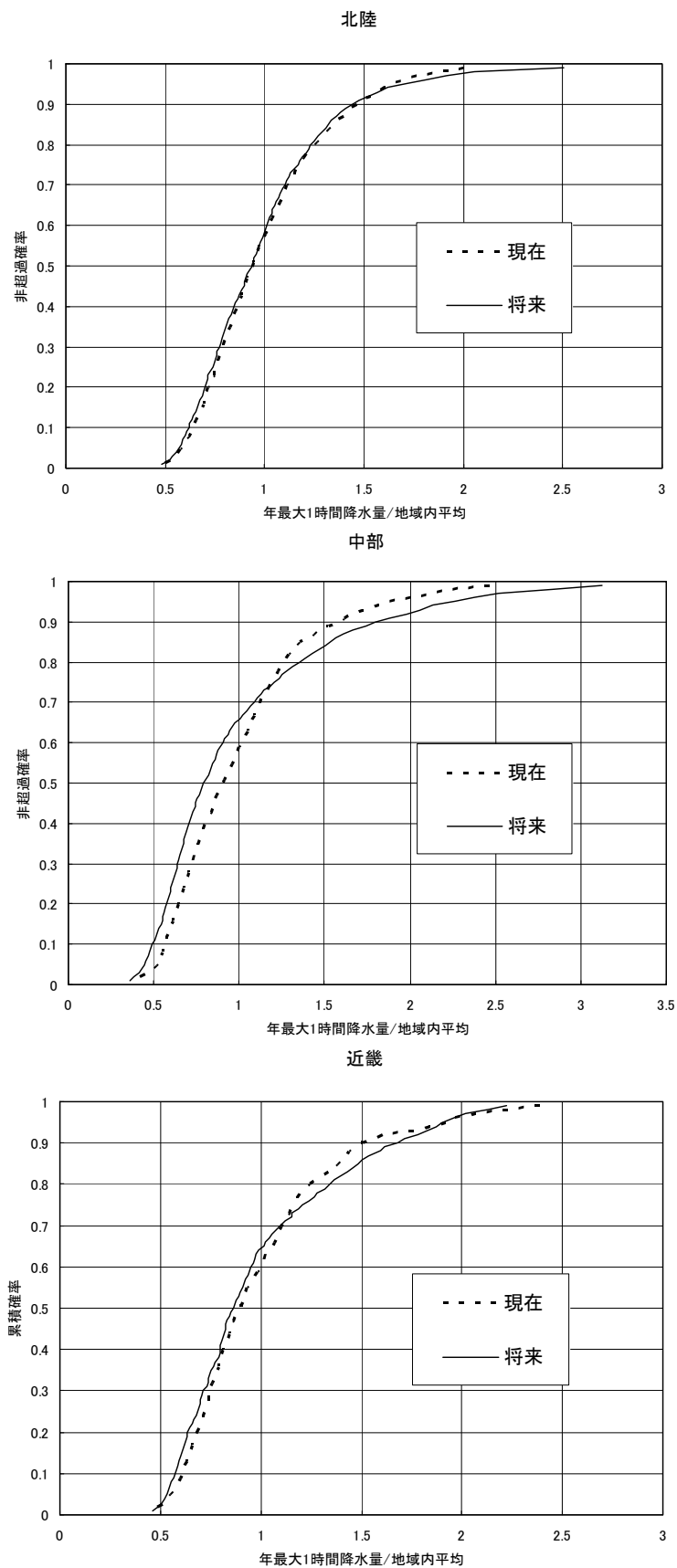
参考図－9.6 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大3日降雨量）



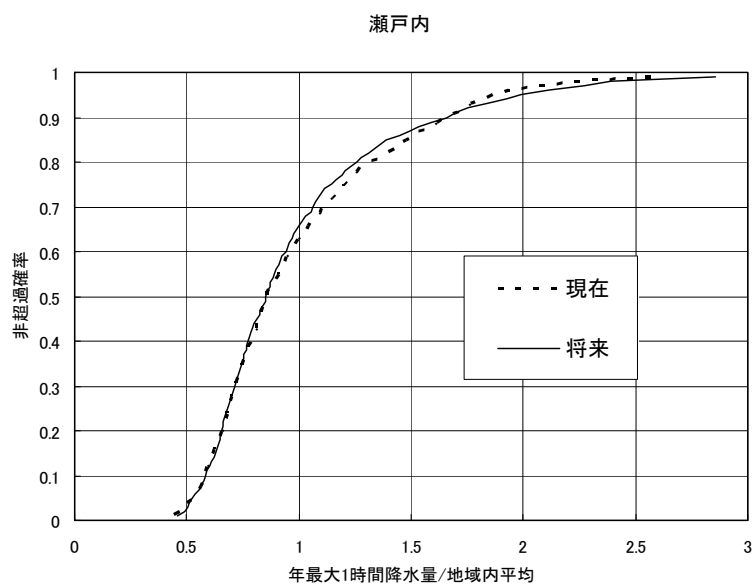
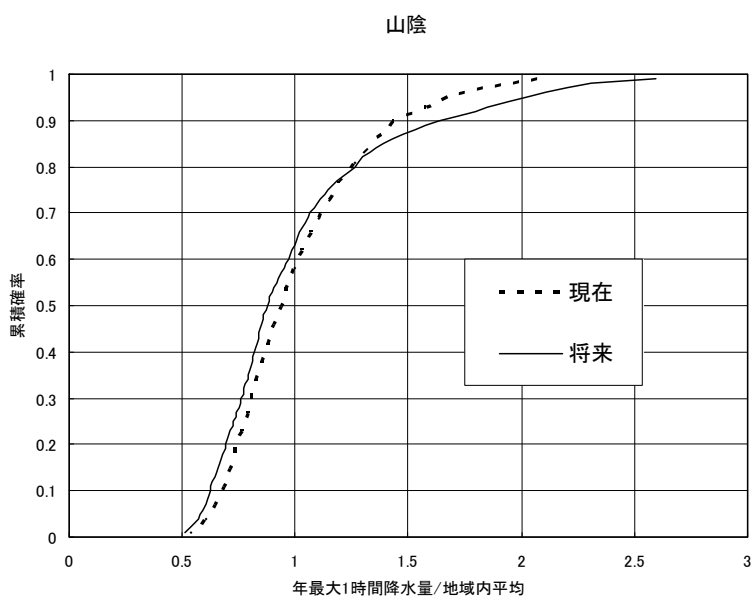
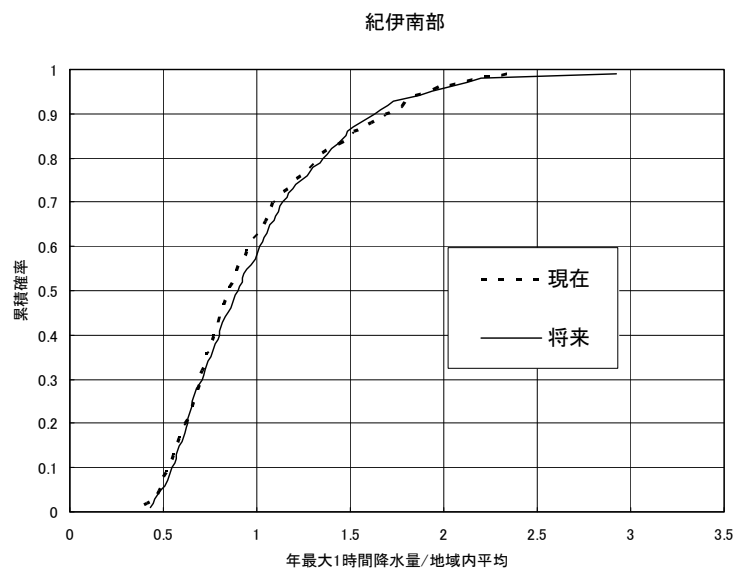
参考図－9.7 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大3日降雨量）



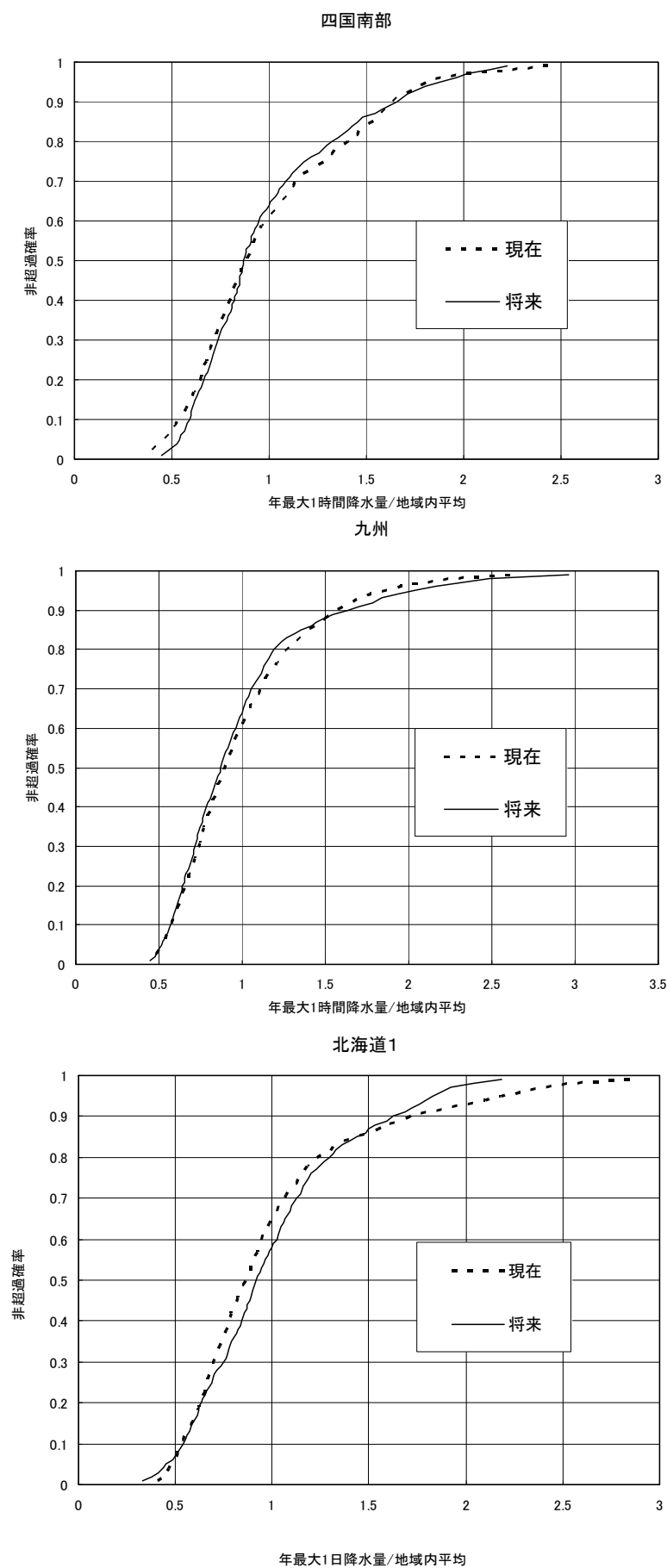
参考図－10.1 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大1時間降雨量）



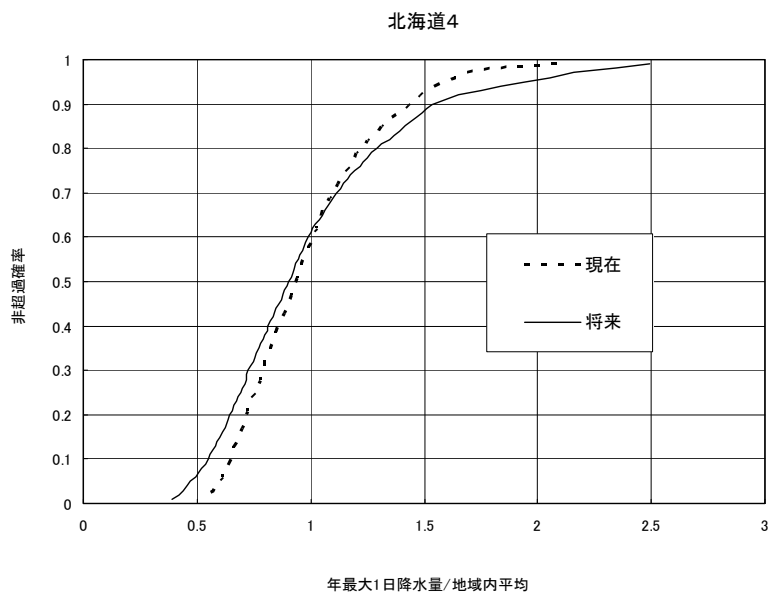
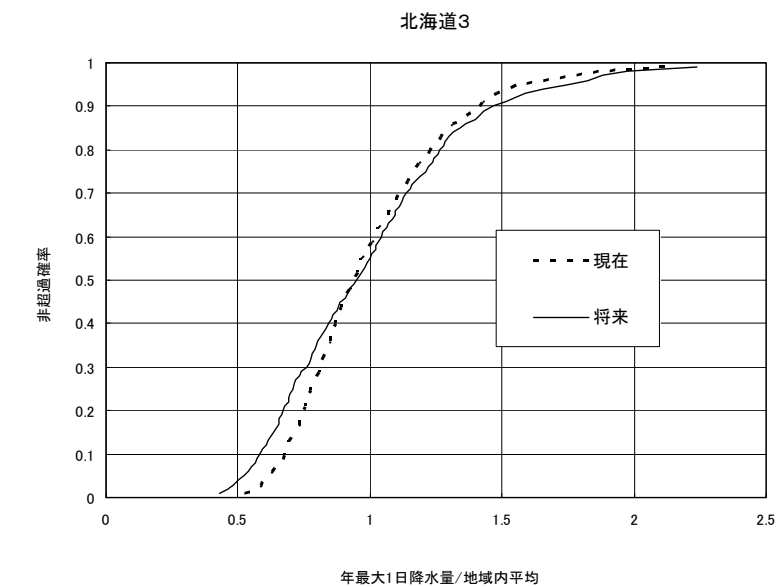
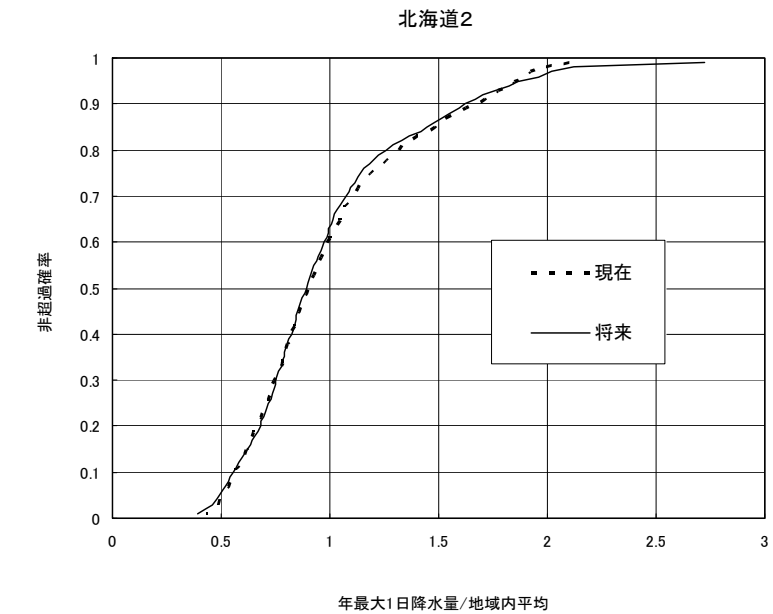
参考図－10.2 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大1時間降雨量）



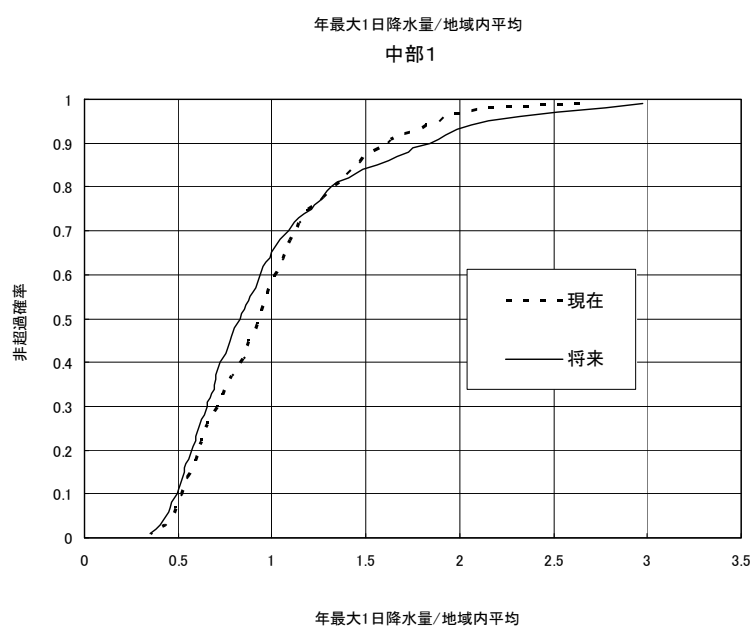
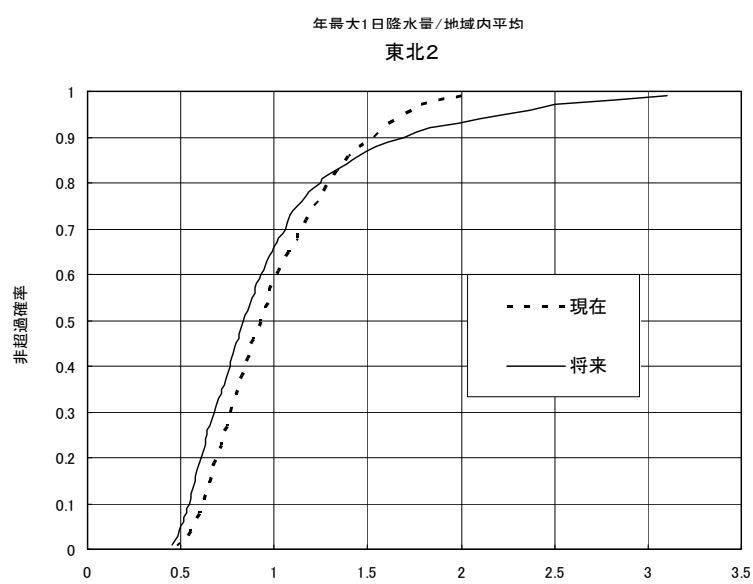
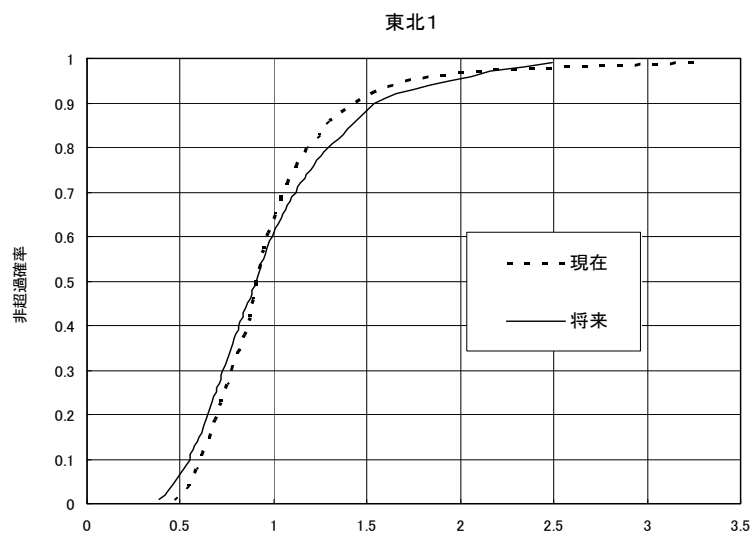
参考図－10.3 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大1時間降雨量）



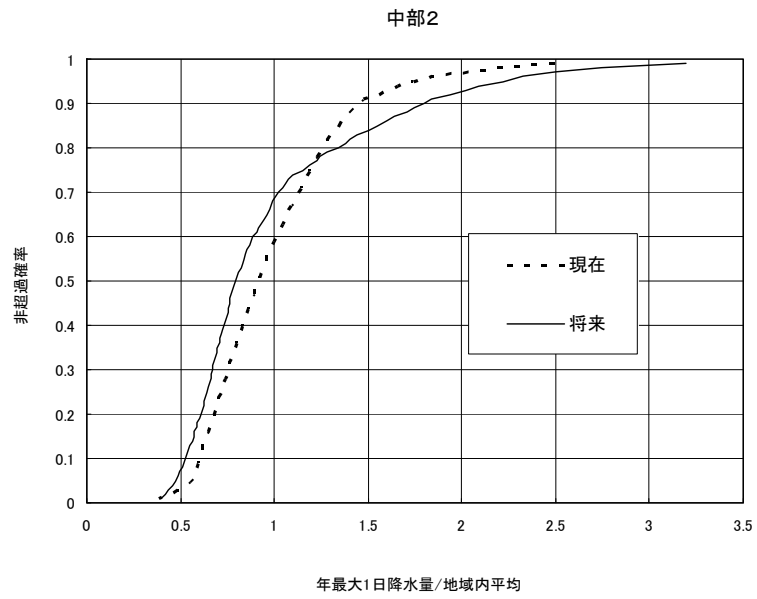
参考図－10.4 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大1時間降雨量）



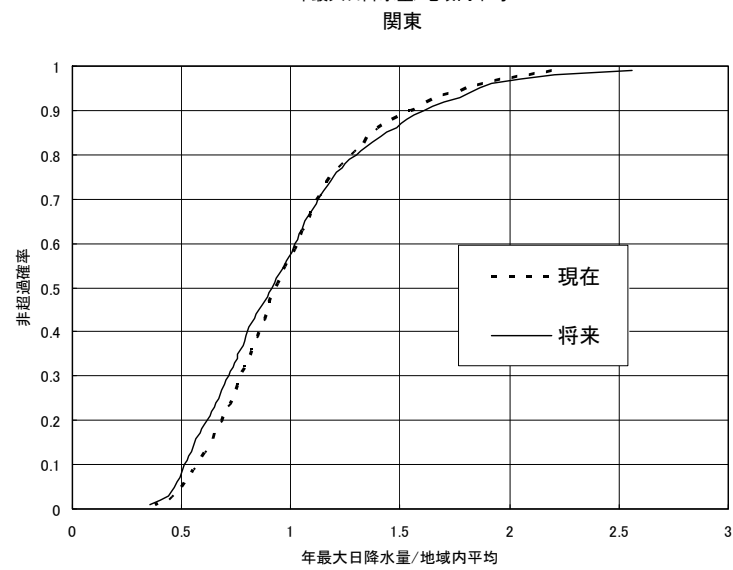
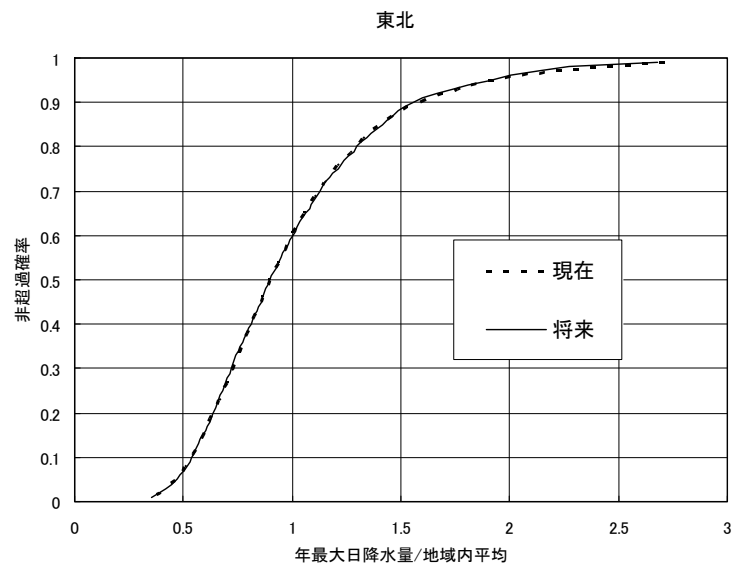
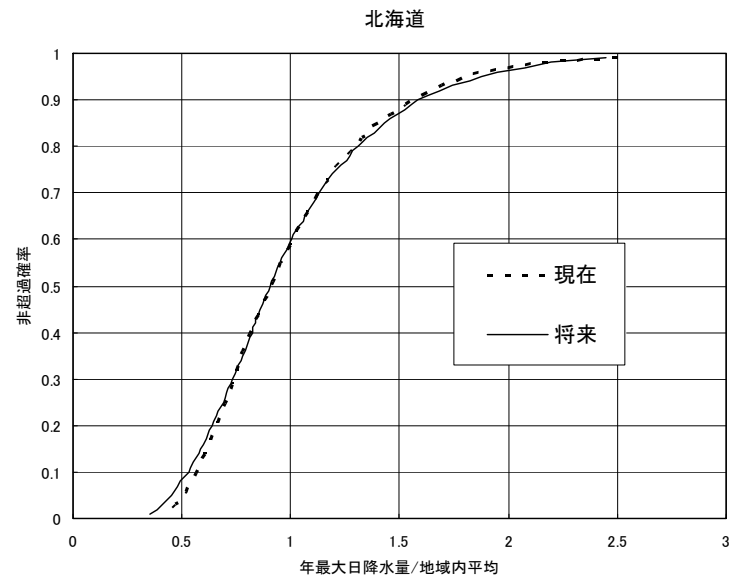
参考図－10.5 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大1時間降雨量）



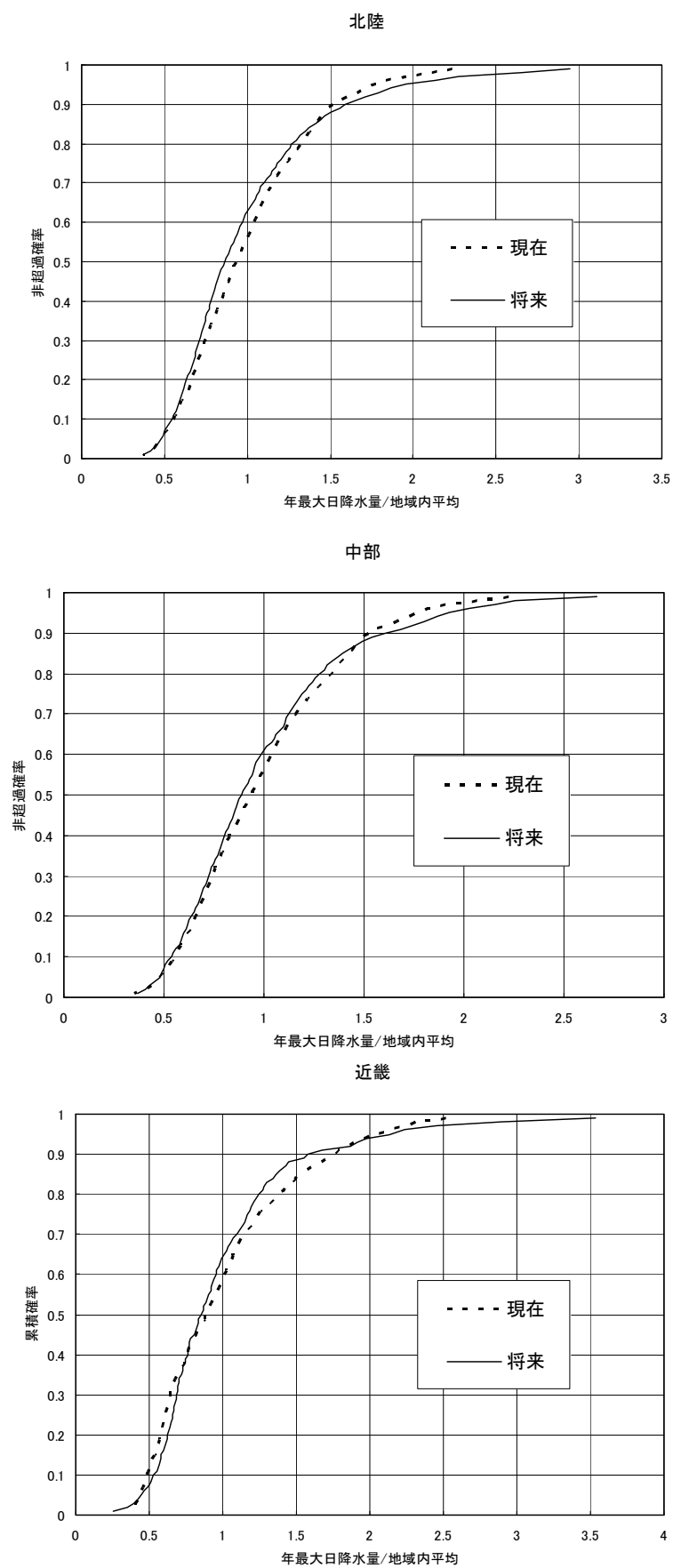
参考図－10.6 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大1時間降雨量）



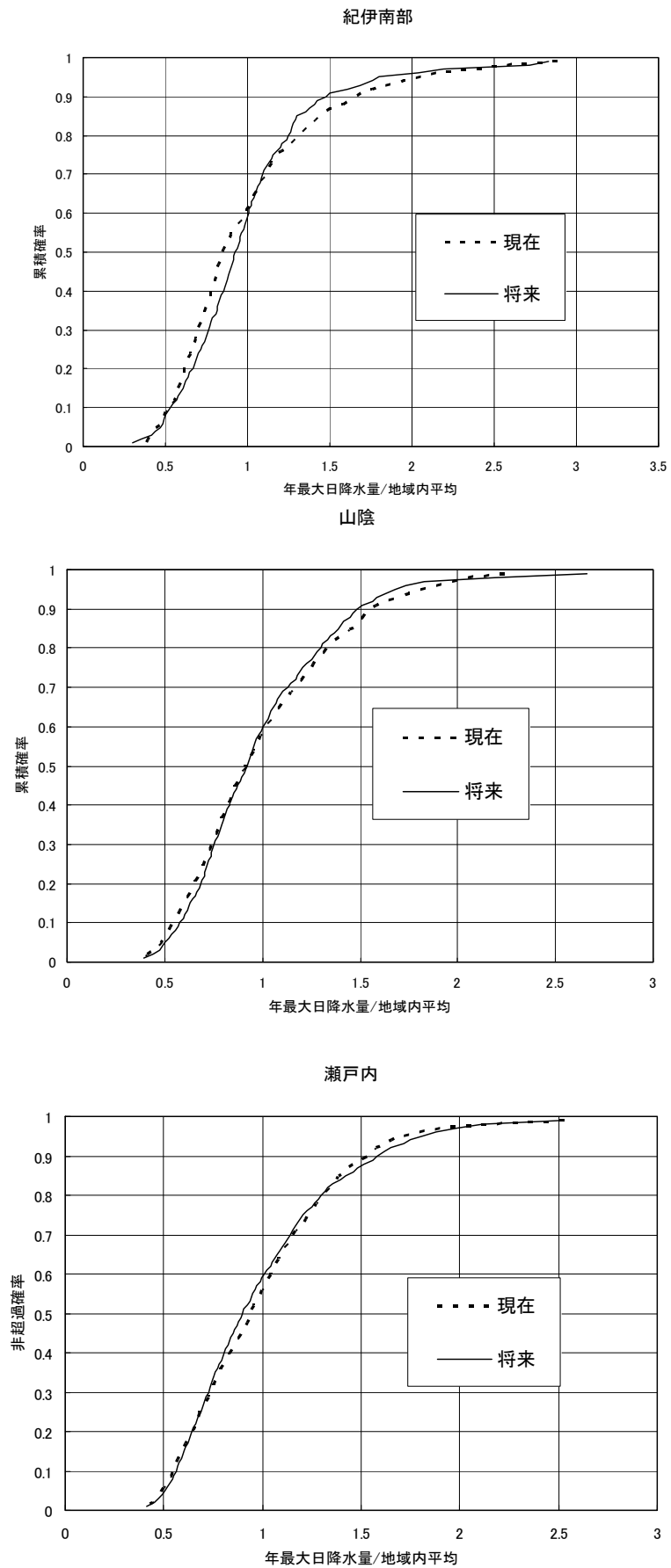
参考図－10.7 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（GCM20、年最大1時間降雨量）



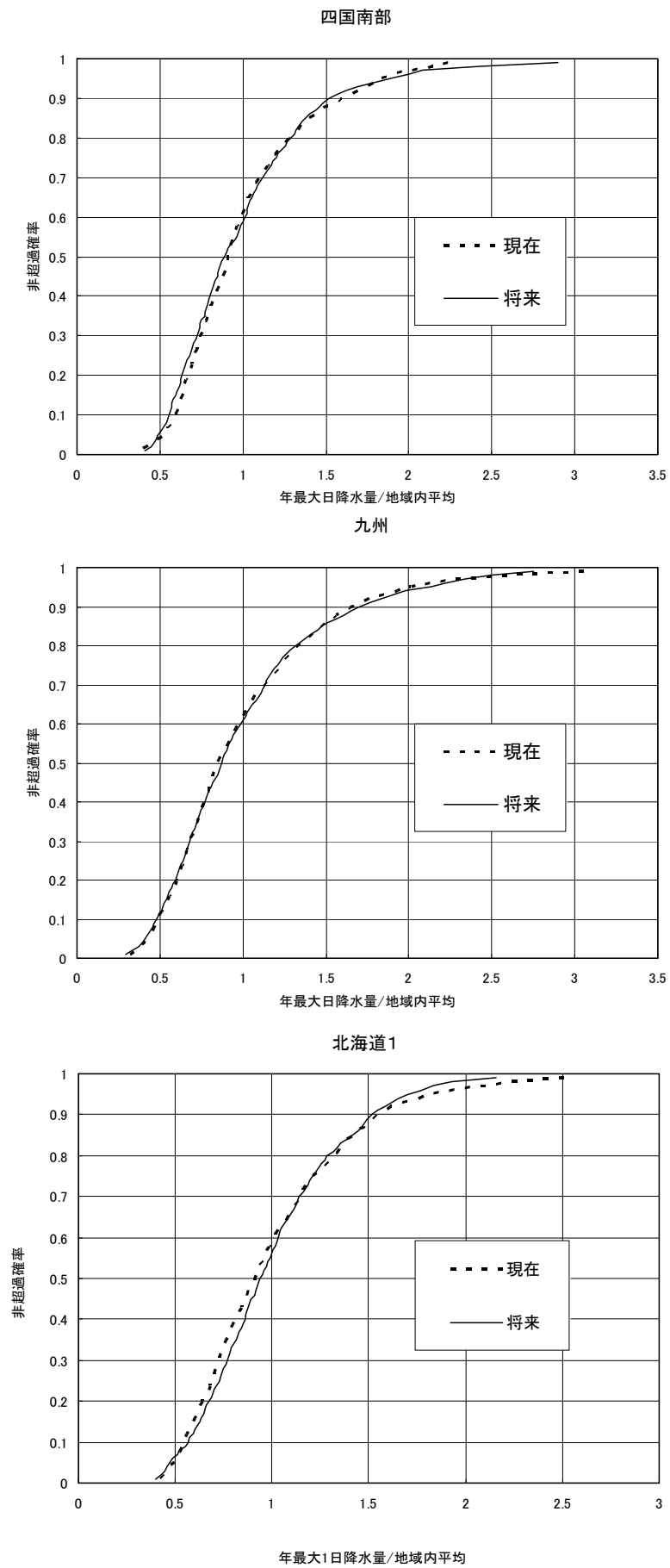
参考図－11.1 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（RCM20、年最大1日降雨量）



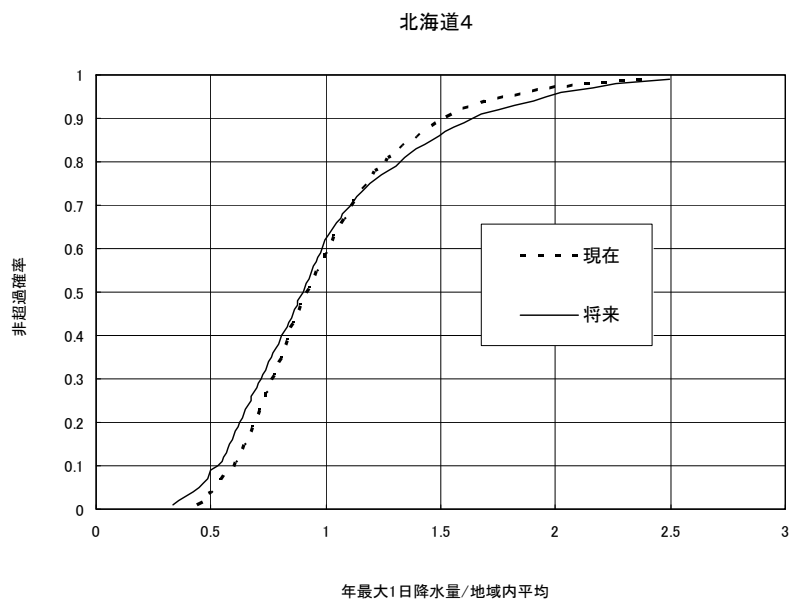
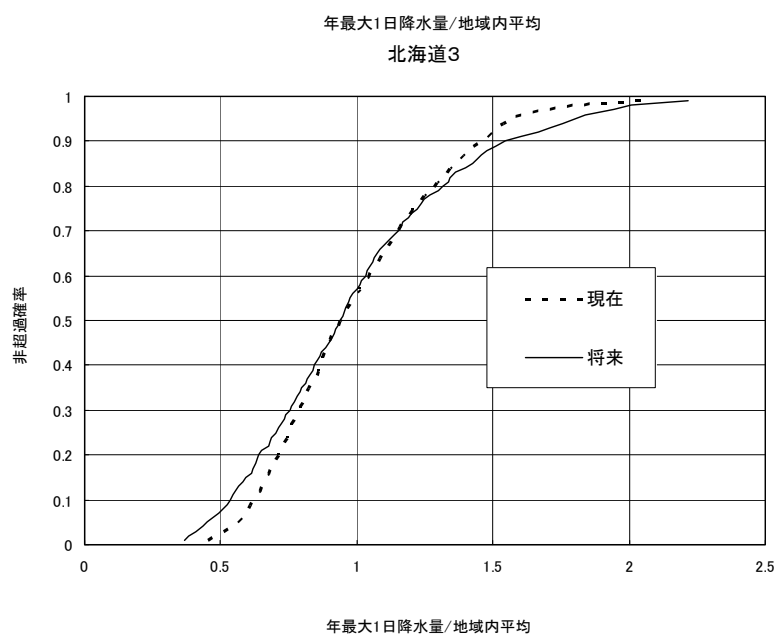
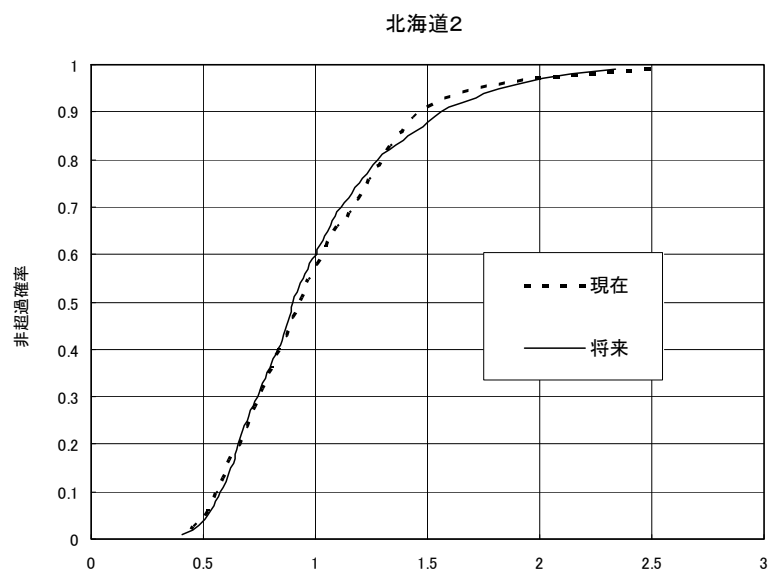
参考図－11.2 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（RCM20、年最大1日降雨量）



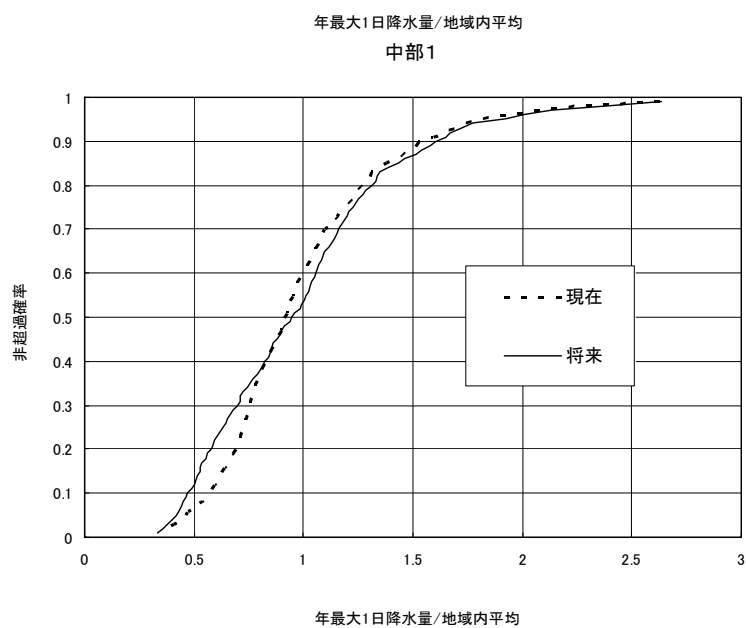
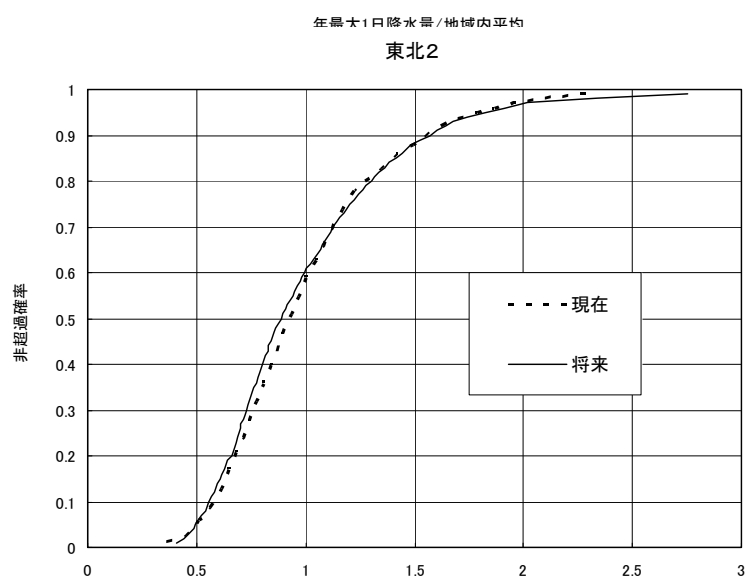
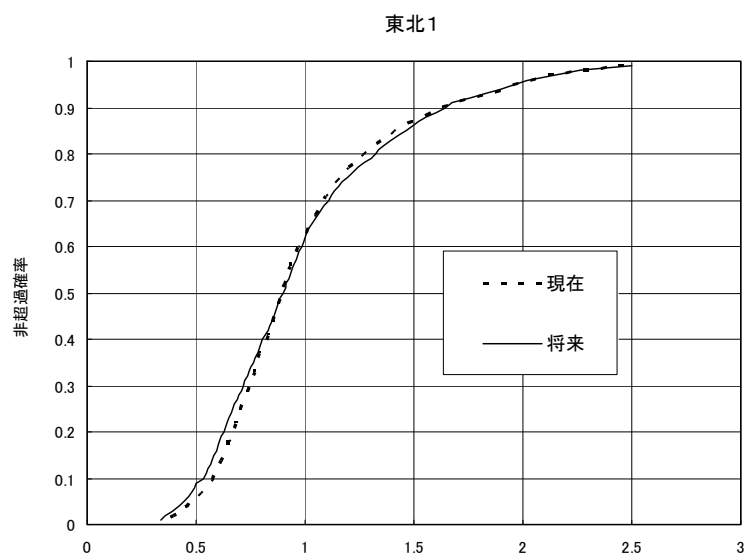
参考図－11.3 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（RCM20、年最大1日降雨量）



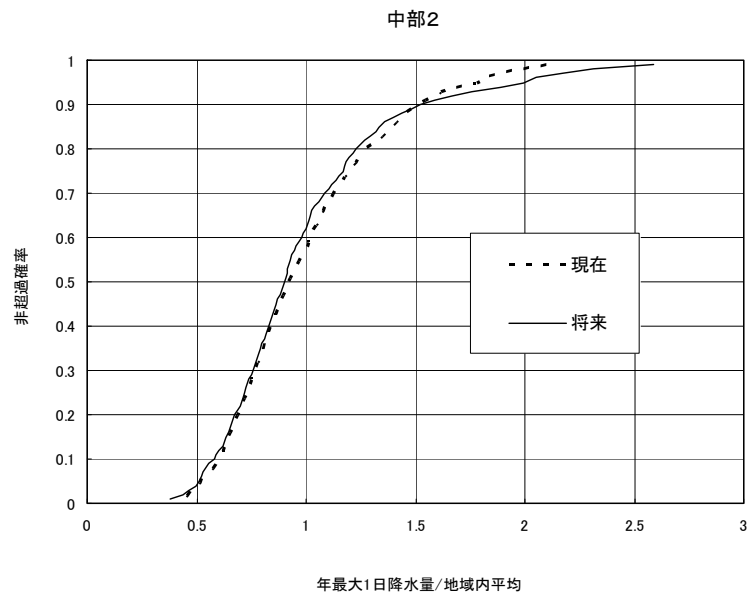
参考図－11.4 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（RCM20、年最大1日降雨量）



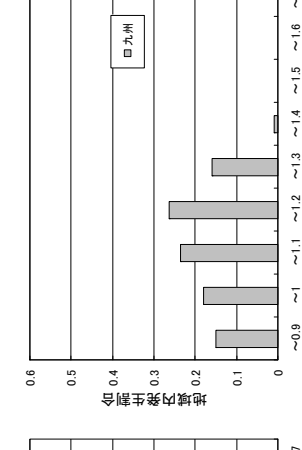
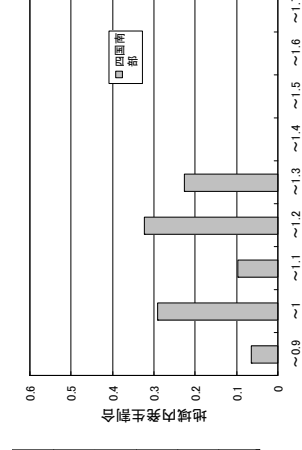
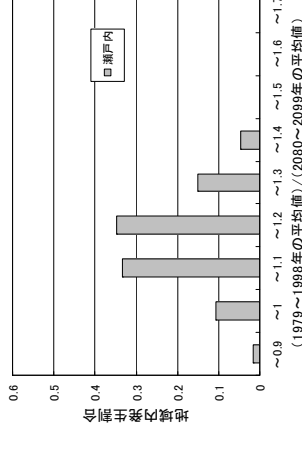
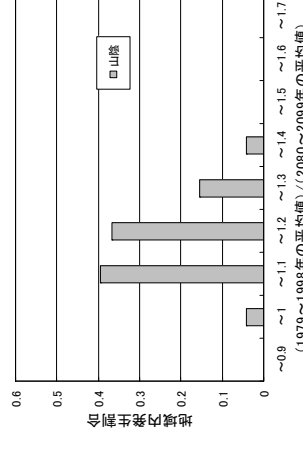
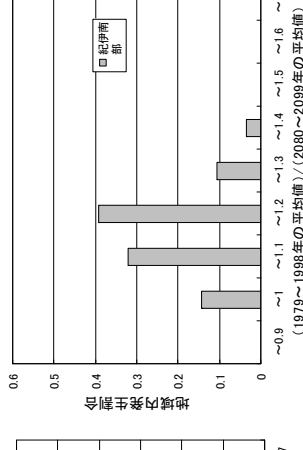
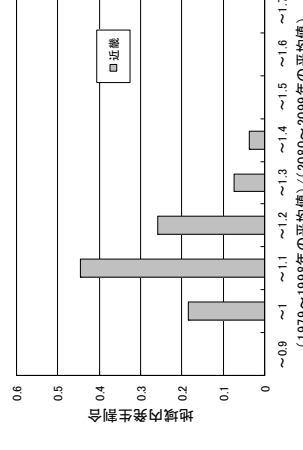
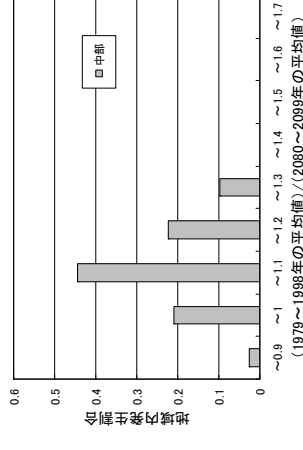
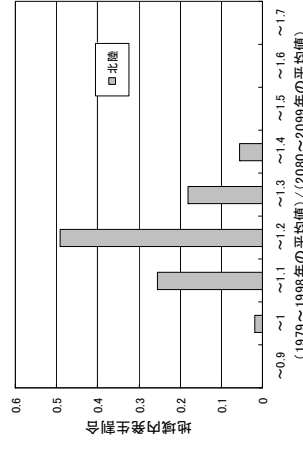
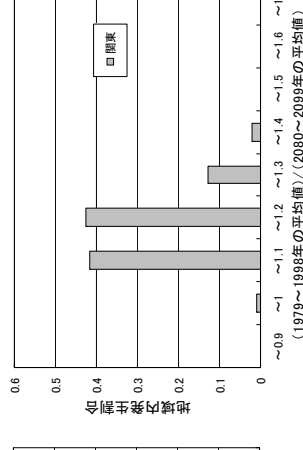
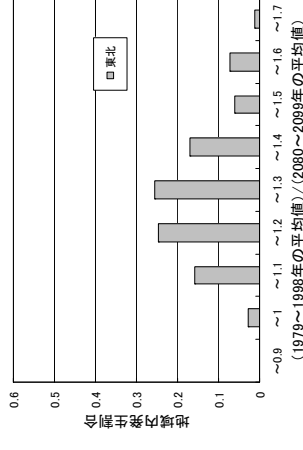
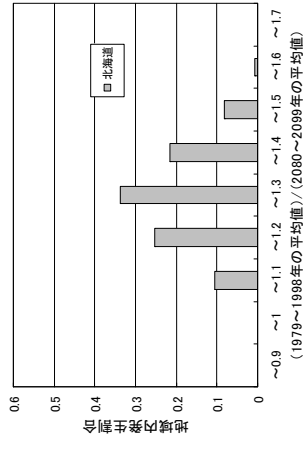
参考図－11.5 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（RCM20、年最大1日降雨量）



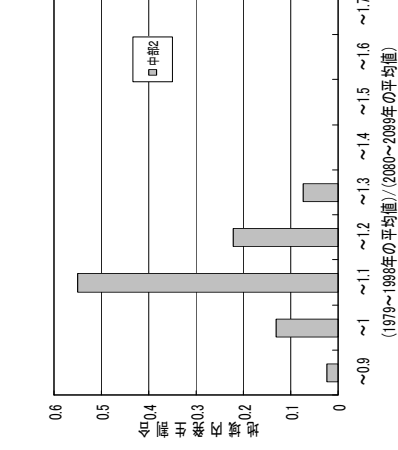
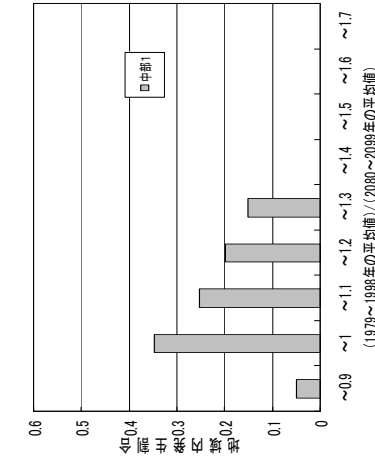
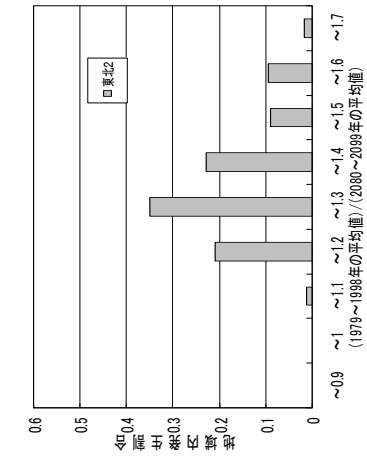
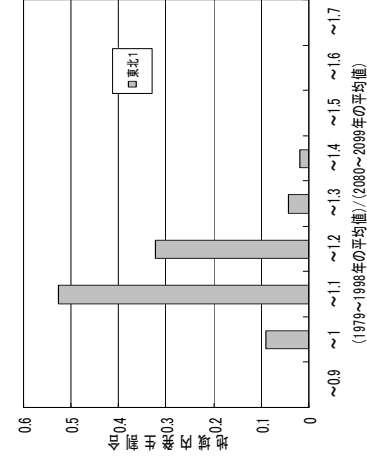
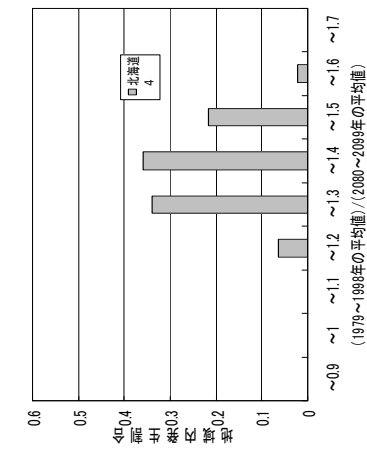
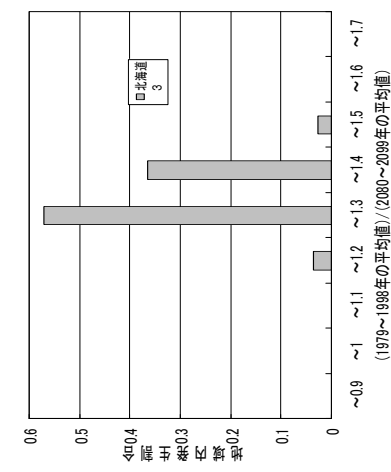
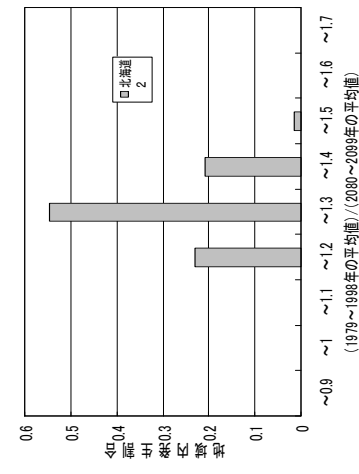
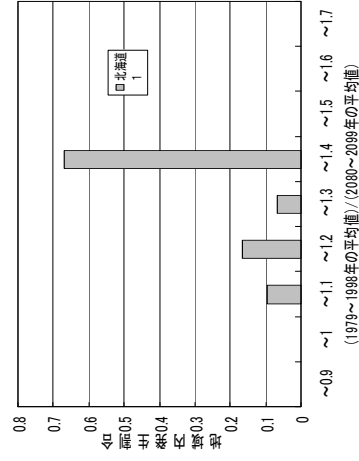
参考図－11.6 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（RCM20、年最大1日降雨量）



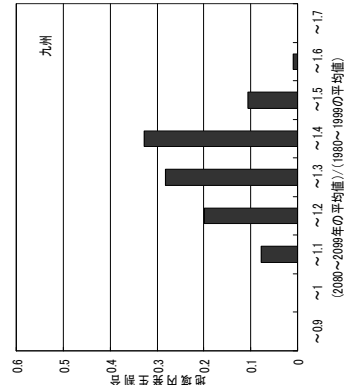
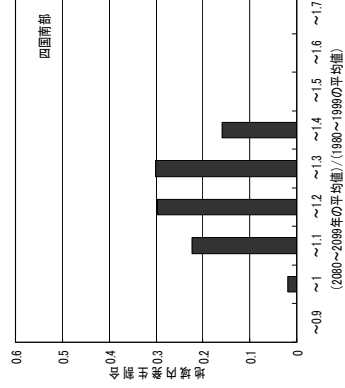
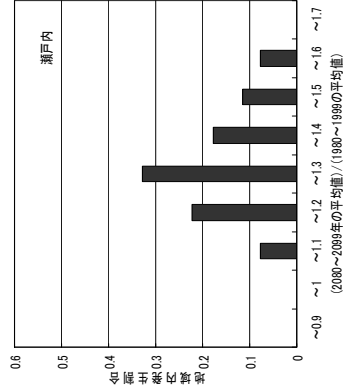
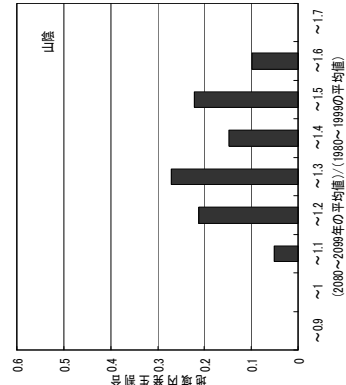
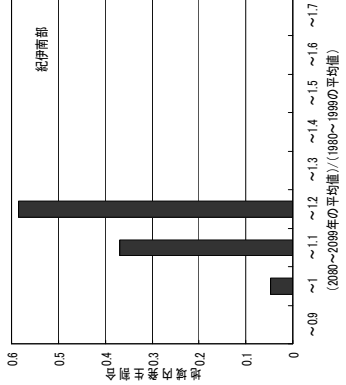
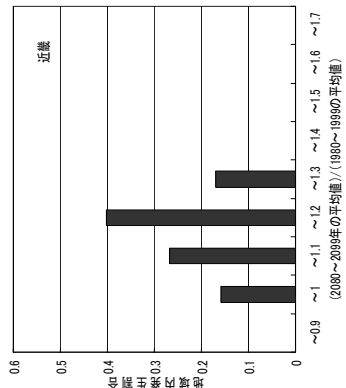
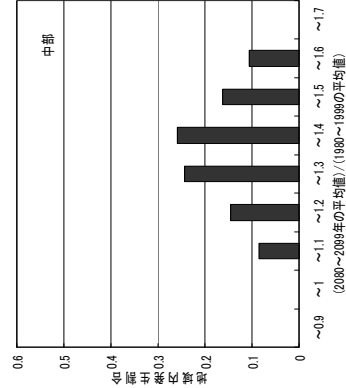
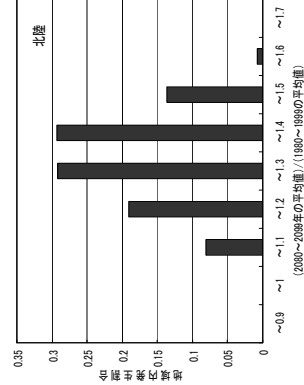
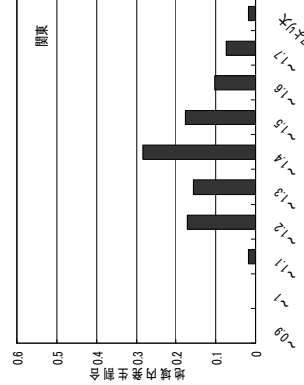
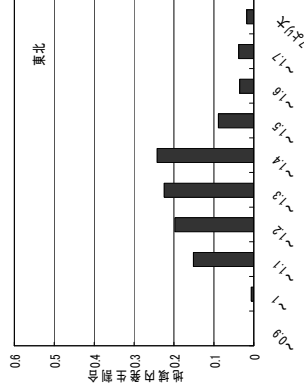
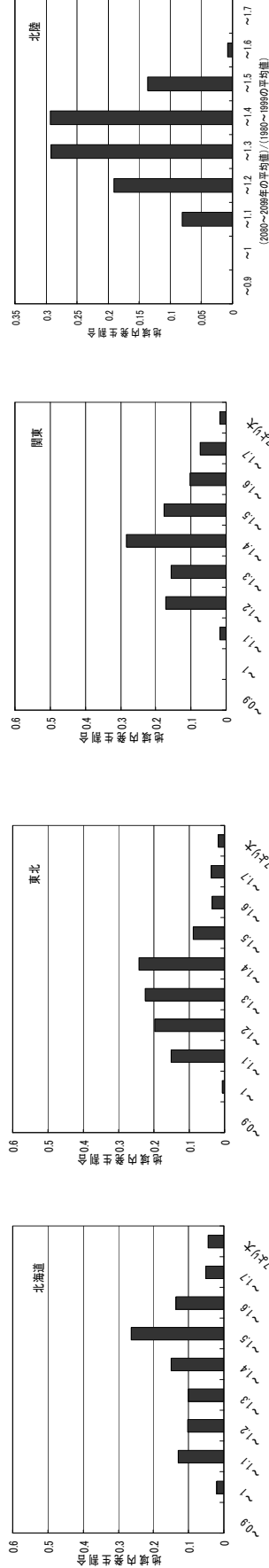
参考図－11.7 地域内平均値で無地元化した地域別確率分布（RCM20、年最大1日降雨量）



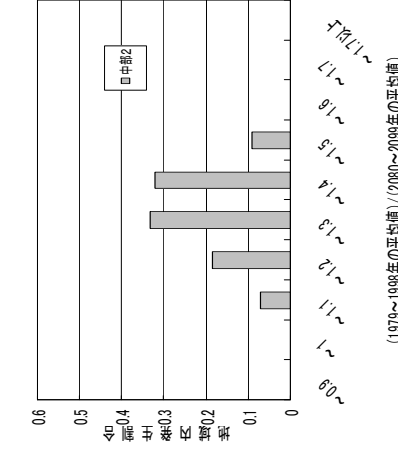
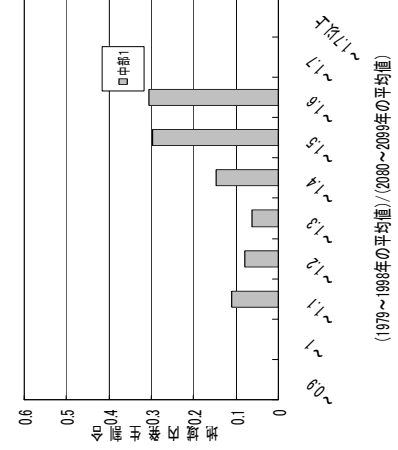
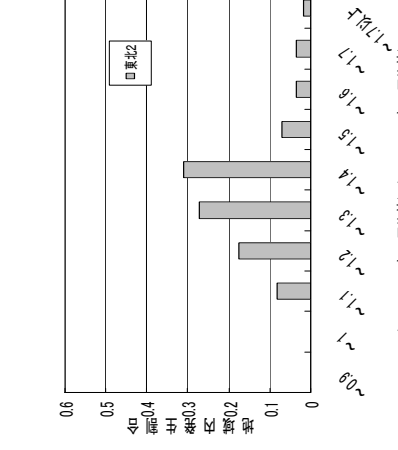
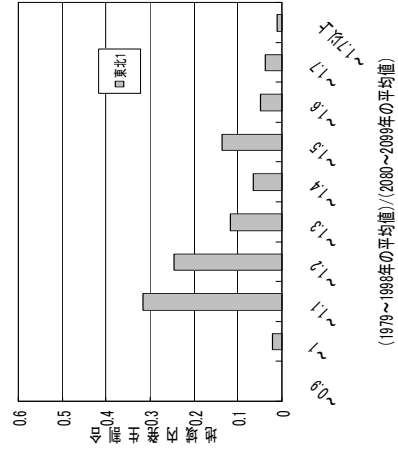
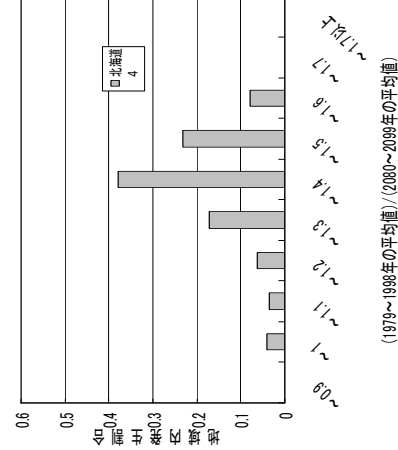
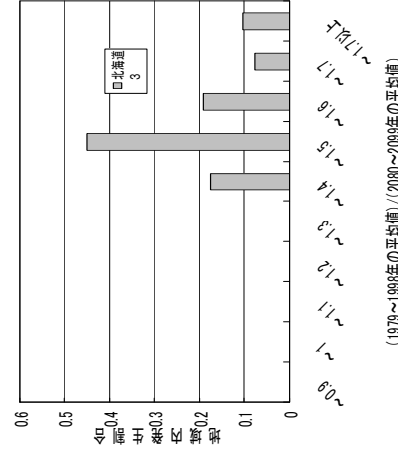
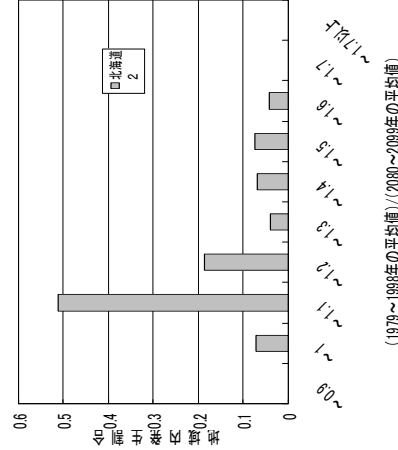
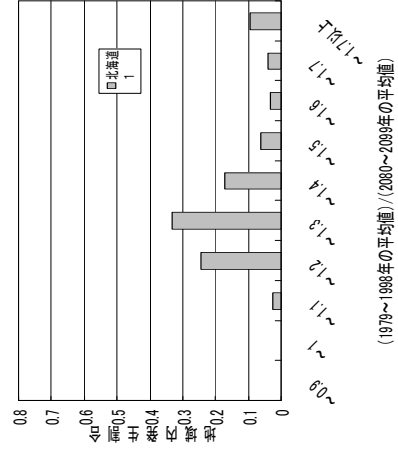
参考図－12.1 各点 20 年平均の将来/現在の地域内発生割合 (GCM20、年最大 1 日降雨量)



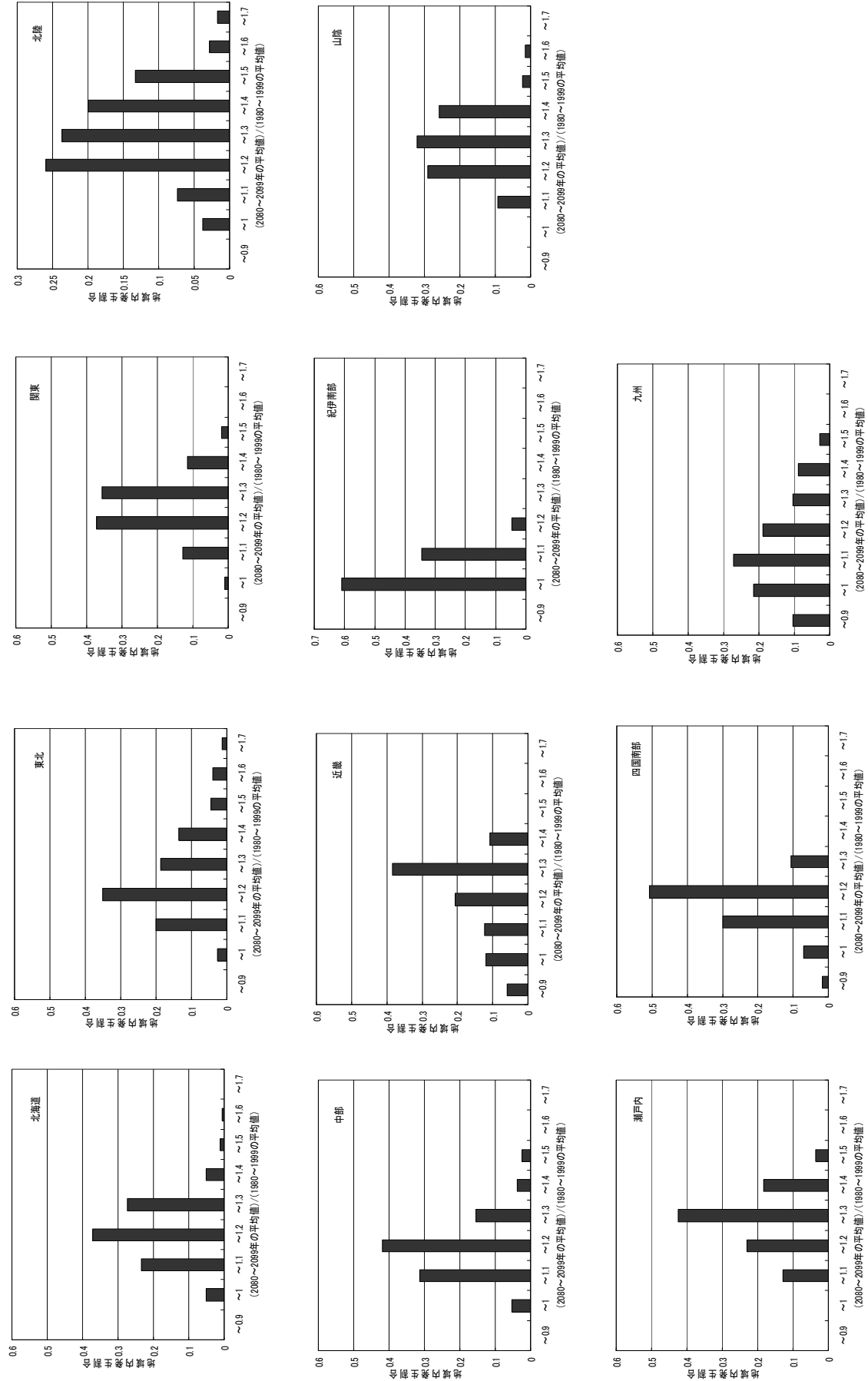
参考図－12.2 各点 20 年平均の将来/現在の地域内発生割合（GCM20、年最大 1 日降雨量）



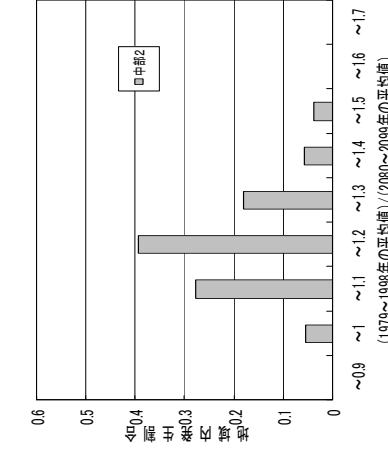
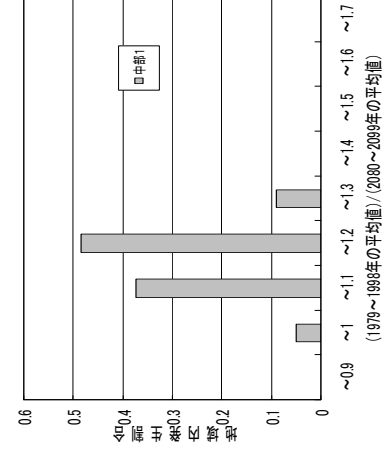
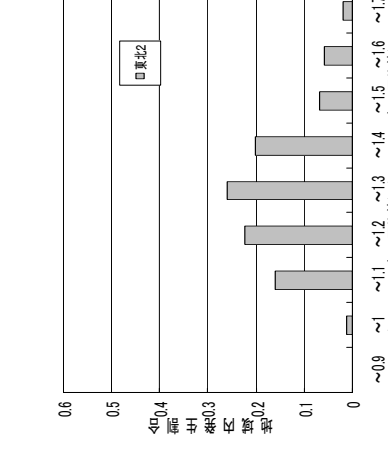
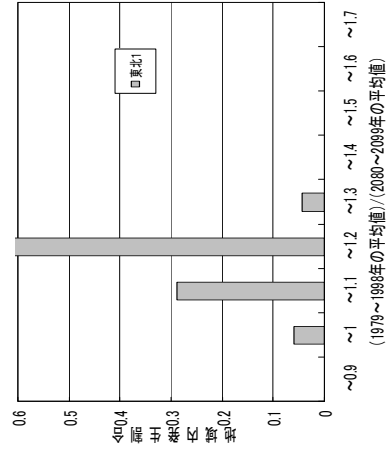
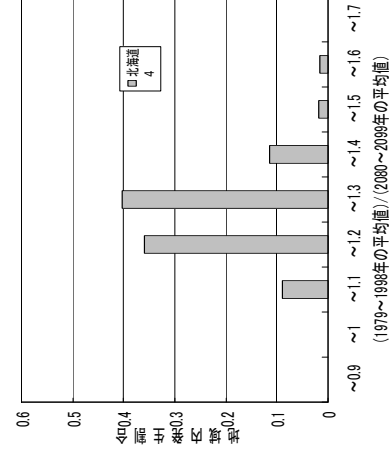
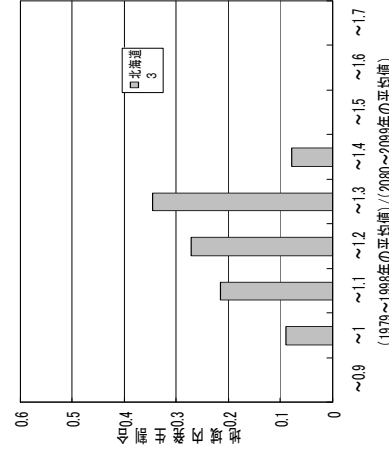
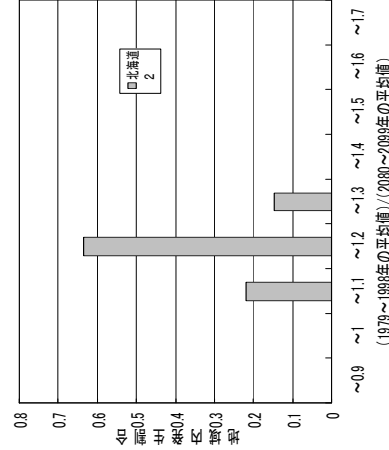
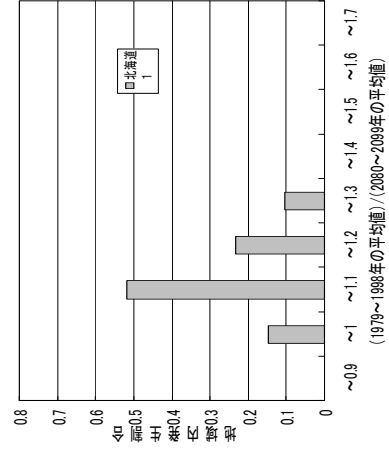
参考図－13.1 各点 20 年平均の将来/現在の地域内発生割合 (GCM20、年最大 1 時間降雨量)



参考図－13.2 各点20年平均の将来/現在の地域内発生割合（GCM20、年最大1時間降雨量）



参考図－14.1 各点 20 年平均の将来/現在の地域内発生割合 (RCM20、年最大 1 日降雨量)



参考図－14.2 各点 20 年平均の将来/現在の地域内発生割合（RCM20、年最大 1 日降雨量）

.....
国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL Note of NILIM

No. 462 May 2008

編集・発行 国土技術政策総合研究所

.....
本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675