

全球的降水量極値の長期変動に関する解析 NCEP と ECMWF 再解析データの検討

久保田拓志・岩嶋樹也

要 旨

米国大気海洋庁の NCEP 再解析データと欧州中期予報センターの再解析データ (ERA40) の降水量を用いて、1958 年～2001 年の期間の年平均降水量・年最大日降水量について、全地球スケールの変化傾向を調べた。NCEP 再解析の全球平均した年平均降水量はやや減少傾向であるのに対して、ERA40 のそれは増加傾向を示す。全球平均した年最大日降水量に関しては、NCEP 再解析データではかなり小さいが、両データセットで増加傾向が見られた。NCEP 再解析データや ERA40 データにおける年平均日降水量の変化傾向の全球分布には、いくつか共通点が見られるものの、多くの差異がある。両データセット間で、年最大日降水量の気候学的分布に大きな差が見られた。また長期変化に関するパターンが異なった。これらの結果は数値モデルの降水スキームに大きく依存していることを示唆しており、それについての詳細な研究が必要である。

キーワード：降水量，長期変動，再解析データ

1. はじめに

二酸化炭素 (CO₂) をはじめとする温室効果気体の増加に伴う全球的気候変化が懸念されている。2001 年の IPCC (気候変動に関する政府間パネル) 第 3 次報告書 (IPCC, 2001) から引用した Fig. 1 は、Easterling et al.(2000) による、世界の各地域における、雨季の激しい降水量の線形傾向と全降水量の線形傾向の関係を示したものである。この図から、20 世紀の間に、平均降水量が増加している地域で、激しい降水の頻度の増加した (USA・W.USSR・S.Canada・S.E.Australia・S.W.S.Africa・Brazil) ことや、平均降水量が減少している地域で、激しい降水の頻度の減少した (S. Japan・Ethiopia・W.Kenya・Thailand) こと、さらに、平均降水量が減少している地域で、激しい降水の頻度の増加した (E.USSR・N.Japan) ことがわかる。

しかし、地球上の多くの領域についての調査はまだ不十分で、降水量極値の長期変化を明らかにするためには、多くの課題が残されている。観測網が陸上に偏っていること、さらに極域・山岳域などでは

観測点が極端に少なく、このような地域での正確な降水量・蒸発量の見積りが極めて困難である、などの問題点が挙げられる。人工衛星などによる観測が期待されるが、全球的に長期にわたって正確に観測することは極めて難しい。従って、全球にわたり降水量を正確に把握することは、現在、極めて困難である。

これに対して、数値モデルの場合には、陸上・海上に関わらず全地球的に一様に格子点を設定できる。従って、整合性のある数値モデルによるシミュレーション実験結果の解析は、不十分な観測網による解析を補い、有効かつ有用な参考情報を与えるものと期待される。

前々報 (佐藤・岩嶋・鬼頭, 2002) では、気象研究所大気・海洋結合モデル (Tokioka et al., 1995) による数値実験結果を利用して、大気中の CO₂ 濃度を徐々に増加させた場合、水収支の半球毎の特徴とそれがどのように変化するかについて調べ、降水量極値の発生頻度や降水日数の変化についても解析した。さらに、前報 (岩嶋・久保田・鬼頭, 2003) では、年最大日降水量や年最大時間降水量などの極値につ

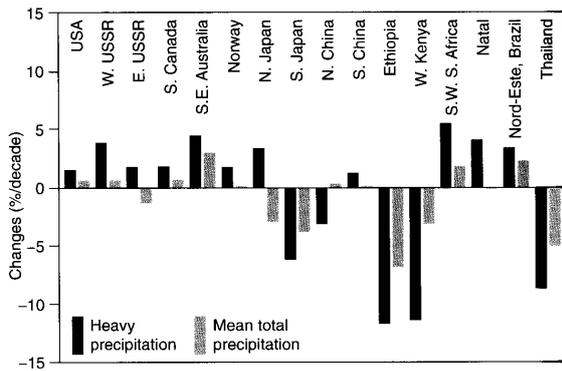


Fig. 1 Linear trends (%/decade) of heavy precipitation (above the 90th percentile) and total precipitation during the rainy season over various regions of the globe. Seasons for each region usually span at least 50 years (IPCC, 2001).

いてさらに詳しく検討し、CO₂ 漸増実験における降水量極値の全球スケールでの時空間的な傾向を調べた。その結果、CO₂ の増加に伴い、年最大日降水量などの極値の発生頻度が全球的に増加している特徴を明らかにした。

Räisänen (2002) は 19 種類の大気海洋結合モデルを用いて、降水量の年々変動における CO₂ による変化を調べた。彼は、CO₂ 濃度の漸増に伴い、降水量の変動の大きさが増加することを示した。

観測データとはいえないが、整合性のあるデータという点では、過去の大気場のデータに大気大循環モデルを適用して降水量を求めている再解析データの利用が考えられる。ただし、このような数値モデルによる格子点毎の降水は、格子点間隔に相応する広い領域を代表する平均的降水であり、現実世界で個々の観測箇所を観測されている降水とは必ずしも対応しない。また数値モデルにおいて、対流雲のような格子で表現されない現象がもつ効果を、格子で表現された状態を用いてモデルに取り入れる手法、すなわち、対流のパラメタリゼーションが採用されている(時岡ら, 1993)。このように、数値モデルの降水量はパラメタリゼーションの計算結果であることに注意する必要がある。

本研究では、米国大気海洋庁の NCEP 再解析データと欧州中期予報センター (ECMWF) の再解析データ (ERA40) の降水量を用いて、年平均降水量・年最大日降水量について全地球スケールでの時空間的傾向を調査する。

NCEP 再解析データは気象学・気候学の研究に活発に使用されている。2003 年 7 月に公開された

ERA40 データもまた今後、ひろく利用されることが予想される。大気の運動に関連する非断熱加熱量を両者で比較することは、再解析データを利用する際の予備的知識として有用である。

2. 使用したデータについて

2.1 再解析データの概要

使用したデータは、NCEP (National Centers for Environmental Prediction) 再解析データ (Kalnay et al., 1996) と European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) 40 Years Re-Analysis (ERA40) によるものである。再解析データは、過去の観測データの収集と品質管理を系統的に行った上で、同一の数値予報モデルとデータ同化システムのプログラムを使うことにより作られるので、長期間にわたり均質で整合性のあるデータセットである。データは緯度経度ともに 2.5 度間隔で、格子点数は東西 144 × 南北 73 である。

データ同化の際に使用した数値モデルは NCEP 再解析データと ERA40 データで異なる。NCEP 再解析データに使用したモデル (Kanamitsu, 1989; Kanamitsu et al., 1991) は、水平解像度が T62 で、鉛直は 28 層である。対流パラメタリゼーションは Kuo (1965, 1974) による方式である。ERA40 データに使用したモデルは、水平解像度が T159 で、鉛直は 60 層である (ECMWF, 2003)。対流パラメタリゼーションは Tiedtke (1989)、大規模凝結スキームは Tiedtke (1993) による方式である。

また本研究の解析期間は、NCEP 再解析データと ERA40 データに共通する 1958 年 ~ 2001 年の期間である。

2.2 観測値との比較

再解析データセットの降水量の信頼性を確認するために、地表の雨量計や衛星データから見積もられた全球的な降水量データである CPC Merged Analysis of Precipitation (CMAP) データセット (Xie and Arkin, 1997) を基準にして、再解析データセットの降水量の比較を行った。使用した期間は 1979 年 ~ 2000 年である。これは CMAP データセットが 1979 年以降しかないのである。

Fig. 2 は、a) NCEP 再解析データ、b) ERA40 データ、c) CMAP データの気候学的な年平均日降水量を比較した図である。ここでは、1979 年 ~ 2000 年平均値を気候値としている。全体的な特徴は各デー

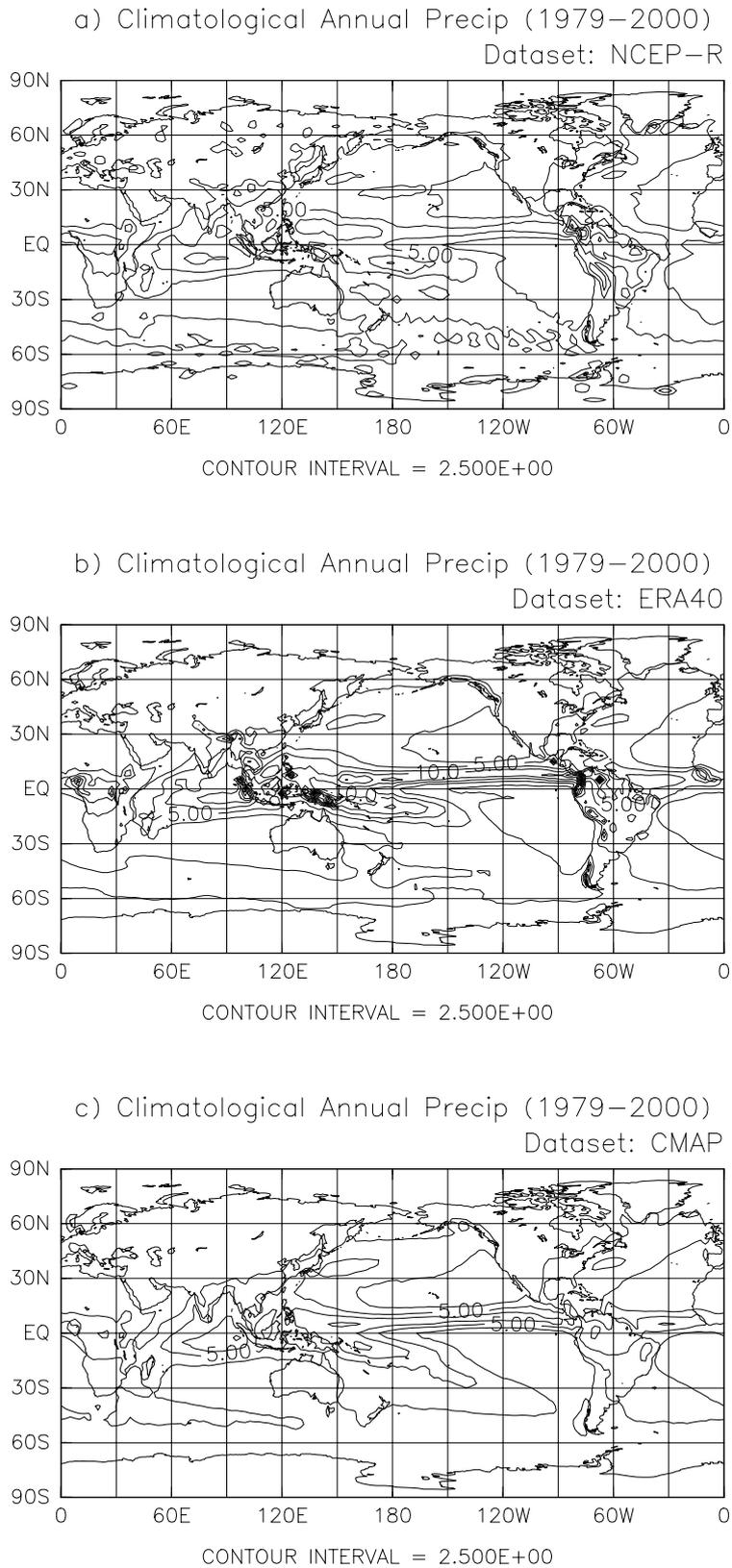


Fig. 2 Climatological global distributions of the precipitation rates for three datasets; a) the NCEP reanalysis, b) the ERA40, and c) the CMAP. The precipitation rates were averaged for the period from 1979 to 2000. The contour interval is 2.5 mm/day.

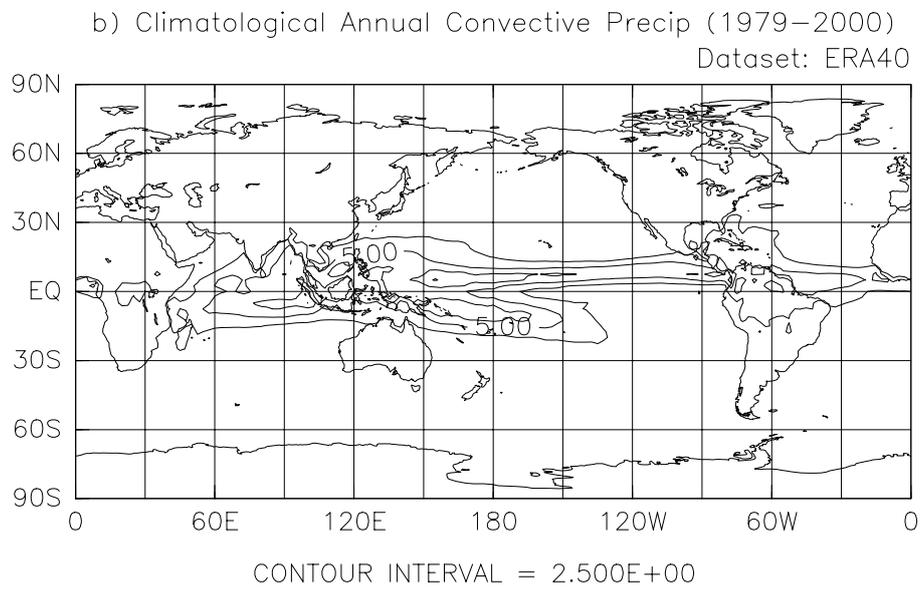
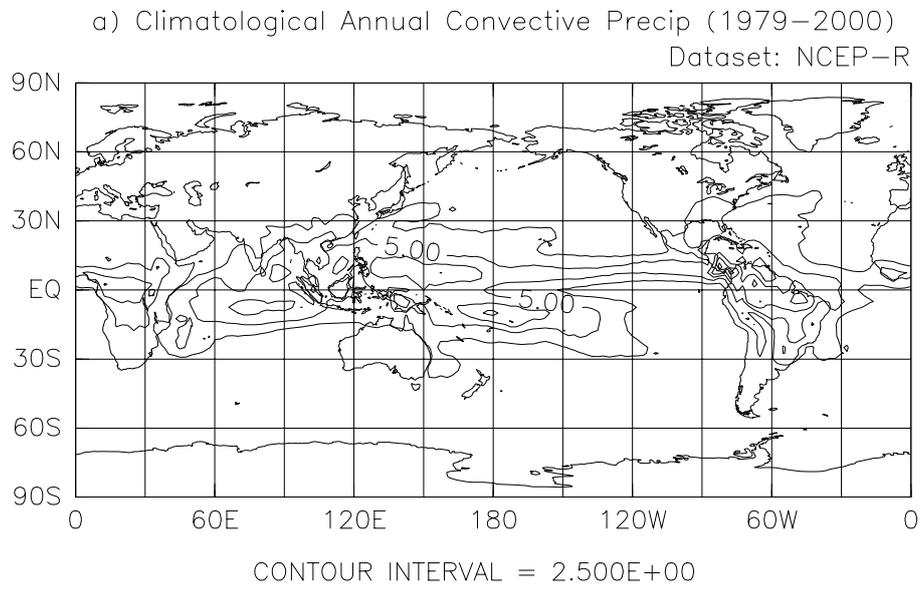


Fig. 3 The same as in **Fig. 2**, except for the convective precipitation rates. The contour interval is 2.5 mm/day.

タで共通している：西太平洋に位置する南太平洋収束帯 (SPCZ) や、インドネシア付近の海洋大陸からインド洋にかけての領域で降水量が多く、また、太平洋上の 10°N 付近に位置する降水帯である熱帯収束帯 (ITCZ) もまた各データセットに見られる。ただ、地域的にみた詳細なパターンはそれぞれで一致せず、また量に関しては顕著な違いがある。

まず、熱帯では、NCEP 再解析データと CMAP データはほぼ同程度の日降水量であるが、ERA40 データは、他と比べて大きい。例えば、SPCZ 付近で比較すると、NCEP 再解析データ (Fig. 2a) や CMAP データ (Fig. 2c) の日降水量は 5 ~ 7.5mm/day 程度であるのに対して、ERA40 データ (Fig. 2b) は 10 ~ 12.5mm/day 程度と約 2 倍大きい。この熱帯域での過剰な降水量は ERA40 データに関する報告書 (Troccoli and Källberg, 2004) で指摘されており、そこでは水蒸気スキームの問題点に由来するとしている。

一方、中緯度で CMAP データに近いのは、NCEP 再解析データより ERA40 データである。例えば、日本付近にストームトラックに伴う降水量の極大域が示されているが、5mm/day の等値線で囲まれた面積は、CMAP データが最も大きく、その次が ERA40 データで、NCEP 再解析データが最も小さい。

また中・高緯度の NCEP 再解析データには、CMAP データには見られない局地的な降水量の極大が見られる (例えば、ユーラシア大陸上や 50°S 付近の南太平洋上)。これは、数値モデルの用語で、“spectral rain”、もしくは、“valley snow” と呼ばれ、NCEP 再解析の数値モデルで、水蒸気の拡散に対して不十分な近似をしていることによる偽の水蒸気の生成・消滅に関連して、人為的なものである (Janowiak et al. 1998)。この特徴は ERA40 データでは見られない。なお、より詳細な NCEP 再解析データと CMAP データの比較は、Trenberth and Guillemot(1998) に記述されている。

同様に、対流性降水量に対して比較した図が Fig. 3 である。NCEP 再解析データの対流性降水量 (Fig. 3a) は、熱帯で全降水量 (Fig. 2a) とほぼ同じ大きさである。従って、NCEP 再解析データの熱帯の降水量は対流性であることがわかる。一方、中・高緯度では対流性降水量が見られず、全降水量で示された特徴は大規模凝結によるものであることがわかる。

一方、ERA40 データの対流性降水量は、熱帯において NCEP 再解析データや CMAP データの降水量とほぼ同じ大きさである。このことから、ERA40 データでは、熱帯で大量の大規模凝結による降水量

があるために、全降水量で CMAP データや NCEP 再解析データより大きな値になっていることがわかる。ただし、中・高緯度の降水は ERA40 データにおいても大規模凝結によるものであるが、前述したように、CMAP データによく対応している。従って、上記の結果は ERA40 データの大規模凝結スキームを否定するものではなく、数値モデルで降水を表現することの難しさを表すものである。

3. 再解析データによる降水量の長期変化傾向

3.1 全球平均値の長期変化傾向

1958 年 ~ 2001 年の期間における NCEP 再解析データと ERA40 データにより、全球平均した年平均日降水量と年最大日降水量の長期変化傾向を調べた (Fig. 4)。

図中の点線は最小二乗法による回帰直線を表し、回帰係数の値は、a) - 0.015, b) 0.20, c) 0.18, d) 2.3 (mm /day /decade) である。NCEP 再解析による全球平均した年平均降水量はやや減少傾向を示すがほぼ一定であり、ERA40 は増加傾向を示すという違いがある。一方、全球平均した年最大日降水量に関してともに増加傾向を示すが大きさが異なり、ERA40 データでより顕著な増加傾向が見られる。

次節以降、地域的な差異について詳細に検討する。

3.2 NCEP 再解析の特徴

Fig. 5 は NCEP 再解析データの年平均日降水量について調べた図である。図はそれぞれ、NCEP 再解析の全降水量に対する、a) 気候学的な (1958 年 ~ 2001 年平均) 分布、b) 変化傾向 (線形回帰係数) の分布、c) 平均降水量に対する変化傾向の割合の分布を表している。

1958 年 ~ 2001 年の期間における変化の傾向についての Fig. 5b において、インド洋・西太平洋・南アメリカ大陸の赤道付近に増加傾向があり、赤道中央太平洋・アフリカ大陸上で減少傾向がある。NCEP 再解析データは数値モデルによる降水量であり、観測値ではないことに注意する必要があるが、Fig. 1 の観測データで示されたアフリカの観測点 (Ethiopia・W.Kenya) における減少傾向と対応している点が興味深い。

NCEP 再解析データの赤道中央太平洋上で降水量が減少する傾向は、Wu and Xie(2003) で指摘されている。この減少傾向は、熱帯太平洋の海面水温が上

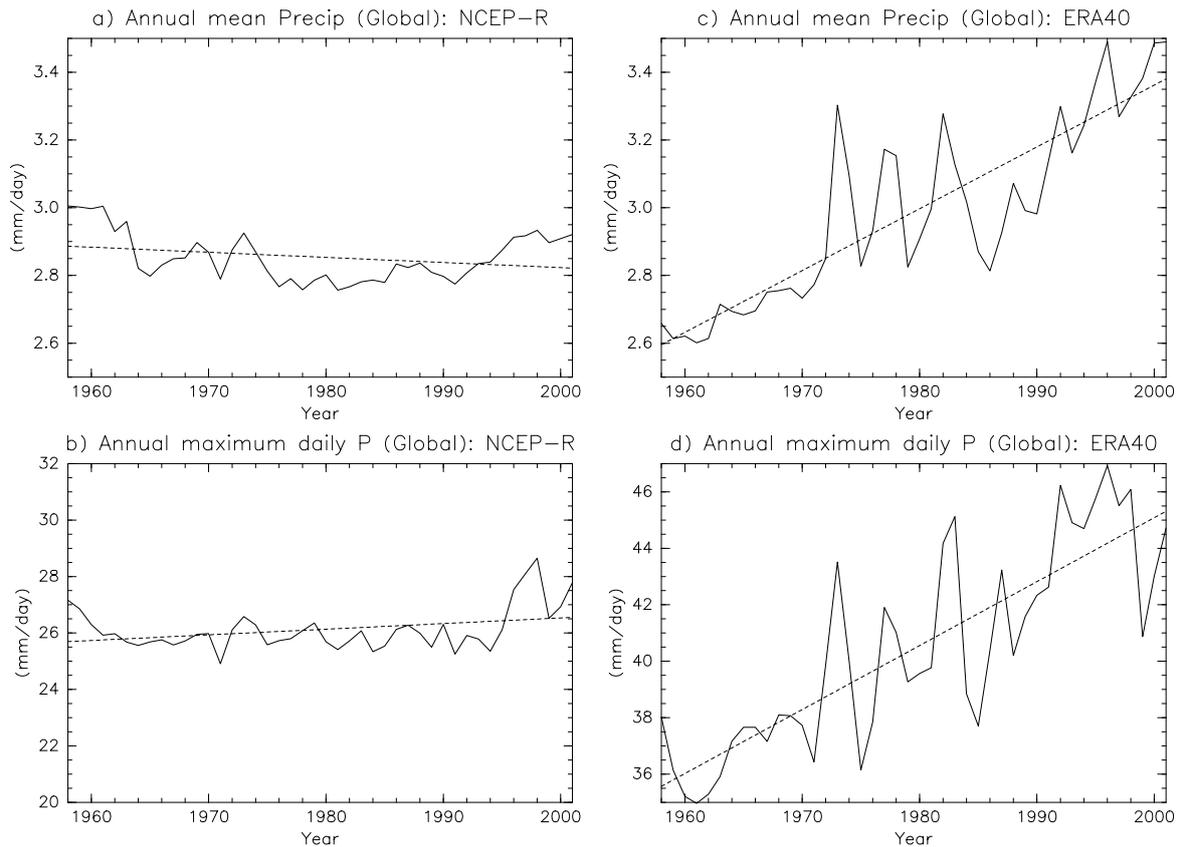


Fig. 4 Time evolution of globally averaged annual mean precipitation rates (a and c) and annual maximum daily precipitation rates (b and d), obtained from the NCEP reanalysis (a and b) and the ERA40 (c and d). The dashed lines show a linear least-square regression.

昇する、数十年規模変動の特徴と対照的である。彼らは、NCEP 再解析データと観測データの地表風の発散場を比較した。その結果、NCEP 再解析データにおいて赤道中央太平洋上で、地表風の発散が増加していたが、観測データでは、地表風の収束が増加していたことがわかった。従って、上記のNCEP 再解析データで見られた赤道中央太平洋で降水量が減少する傾向はモデル起源の特徴であると考えられる。

Fig. 5c は平均降水量に対する変化傾向の割合の分布を示した図である。Fig. 5c では、Fig. 5b と比べると、赤道中央太平洋上の減少傾向、赤道インド洋・西太平洋の増加傾向、赤道アメリカ大陸上の増加傾向の特徴が弱まっている。平均降水量に対してこれらの傾向の変化が小さいことがわかる。一方、アフリカ大陸上で、同様に減少傾向が示されているが、その極小値はより北に位置している。また、Fig. 5b では目立ったなかった特徴が Fig. 5c で見られる。オーストラリア大陸上、メキシコの西岸付近の太平洋上、ペルー沖の 10°S の東部太平洋上で

増加傾向が見られる。またアラビア半島上や 40°N 付近の中国北部からモンゴルにかけての領域で減少傾向がある。

Fig. 6 は、年最大日降水量に対する、a) 気候学的な (1958 年～2001 年平均) 分布、b) 変化傾向の分布、c) 平均降水量に対する変化傾向の割合の分布を表しており、Fig. 5 と同様の図である。NCEP 再解析データの年最大日降水量は、北半球中緯度ストームトラック域、南半球の緯度 30 度付近で大きい (Fig. 5a)。年最大対流性日降水量に対する同様の図 (図省略) では、上記の極大域はあらわれないので、大規模凝結による特徴である。

年最大日降水量の変化傾向 (Fig. 6b) における極大域・極小域は、気候値 (Fig. 6a) より赤道側に位置している。南シナ海から日本付近の北西太平洋上にかけて領域や、インド洋、オーストラリア上で増加傾向、アフリカ大陸上で減少傾向となっている。年最大対流性日降水量の変化傾向 (図省略) では、南シナ海・インド洋・アフリカ大陸上の特徴が

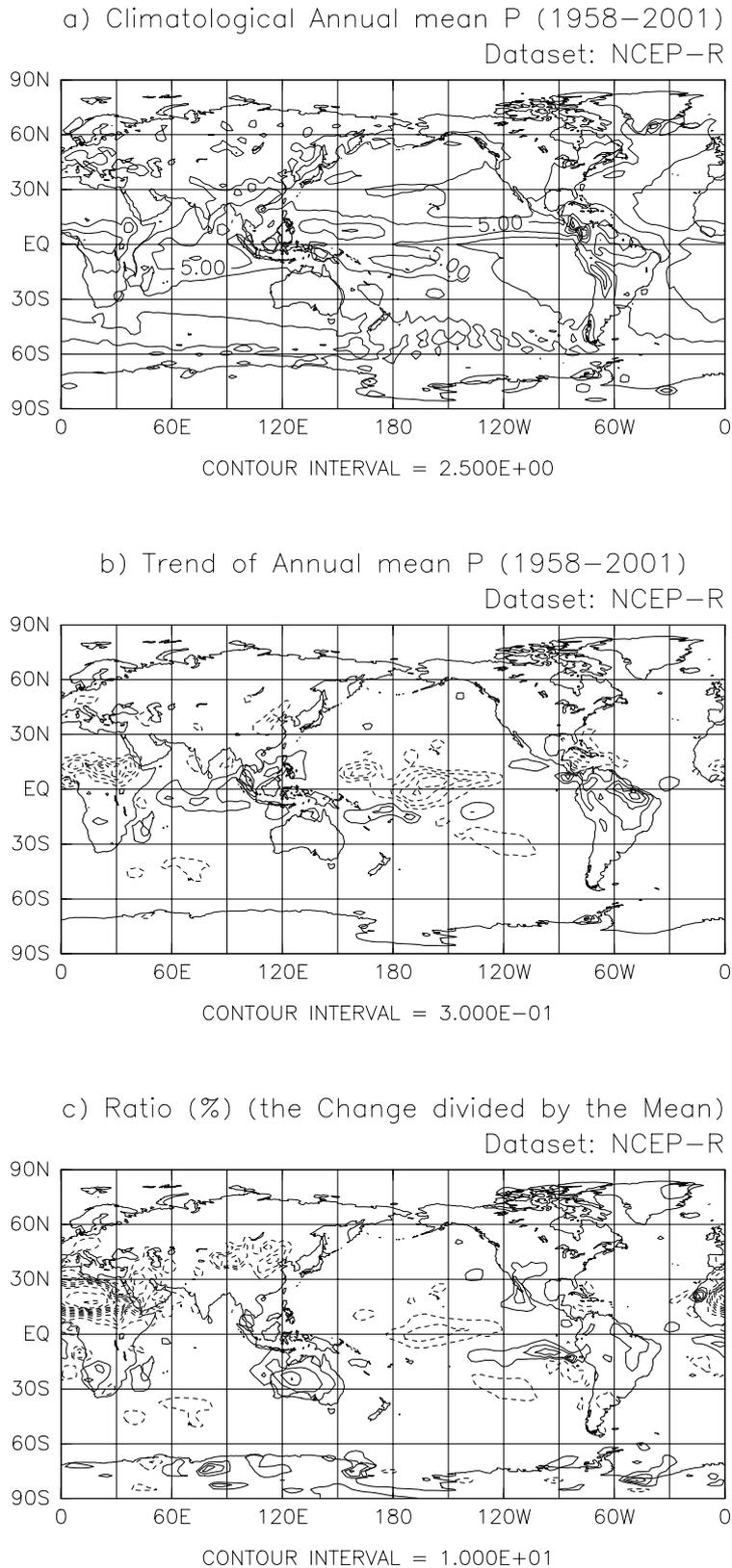


Fig. 5 Climatological (i.e., 1958–2001 mean) global field (a), the linear trends (b), and the ratios of the linear trend to the mean for the annual mean total precipitation rates (c) of the NCEP reanalysis data. The contour interval is a) 2.5mm/day, b) 0.3mm/day/decade, and c) 10%/decade. Solid (Dashed) contours indicate positive and negative values. The zero contour was omitted.

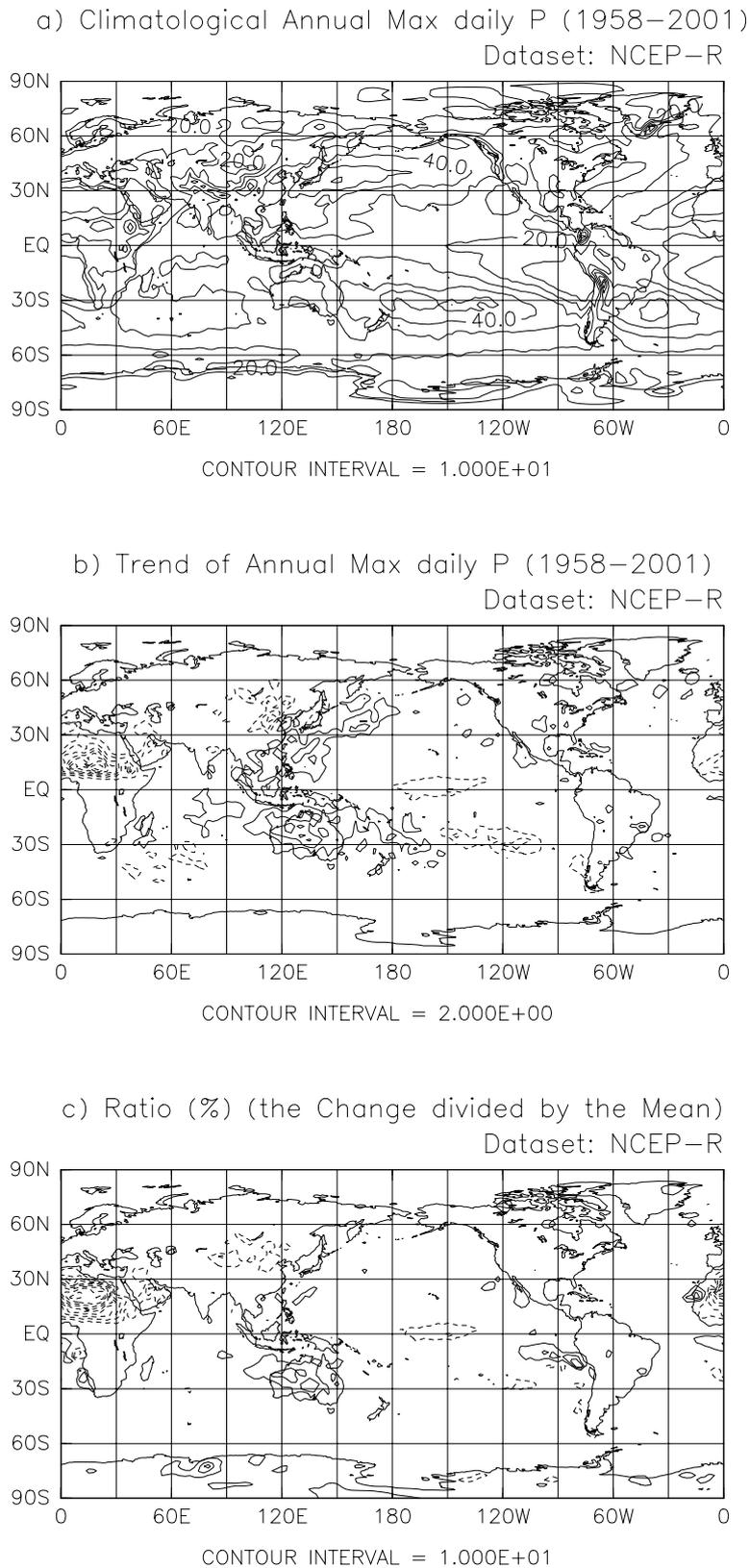


Fig. 6 The same as in **Fig. 5**, except for annual maximum daily precipitation rates of the NCEP reanalysis. The contour interval is a) 1mm/day, b) 2mm/day/decade, and c) 10%/decade.

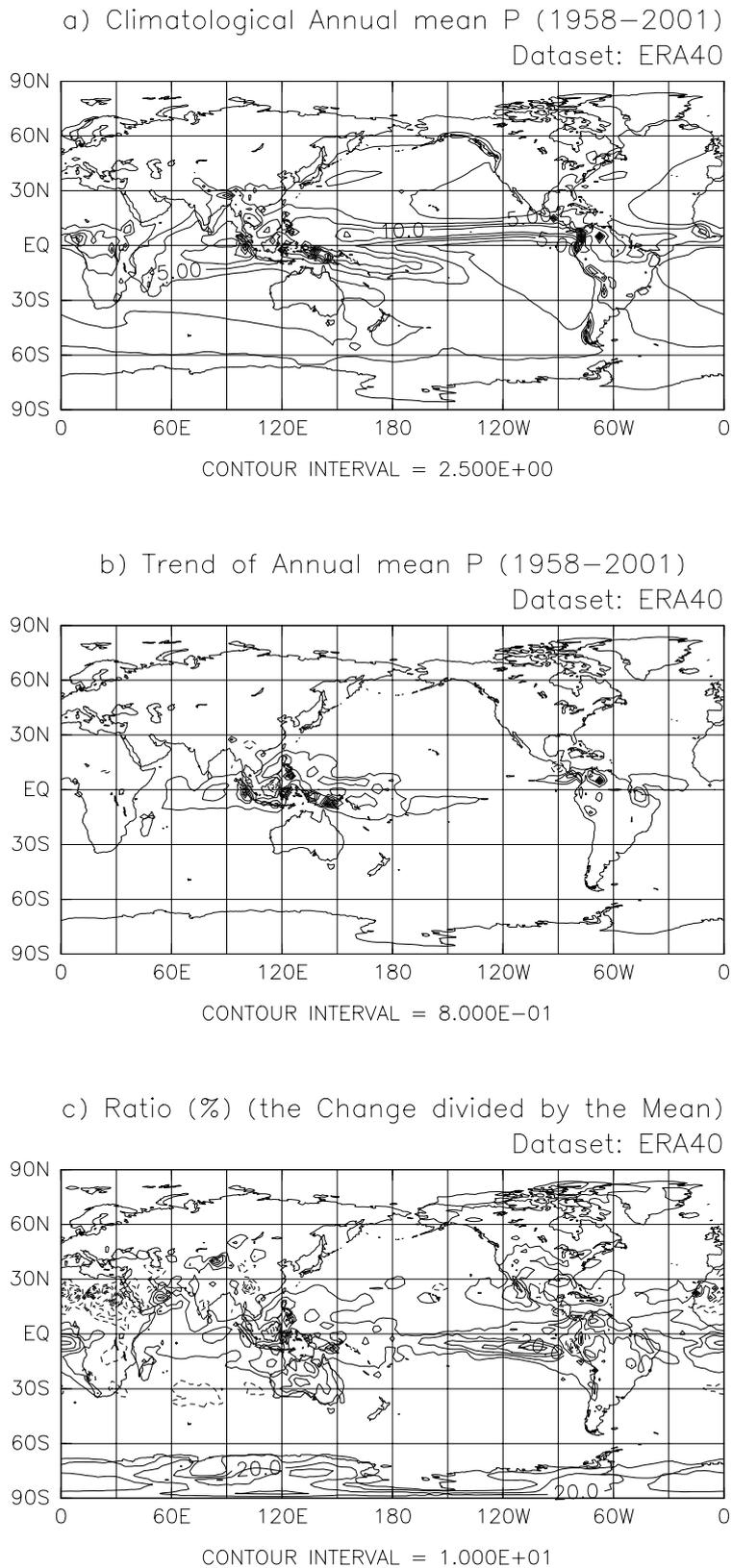


Fig. 7 The same as in **Fig. 5**, except for annual mean total precipitation rates of the ERA40. The contour interval is a) 2.5mm/day, b) 0.8mm/day/decade, and c) 10%/decade.

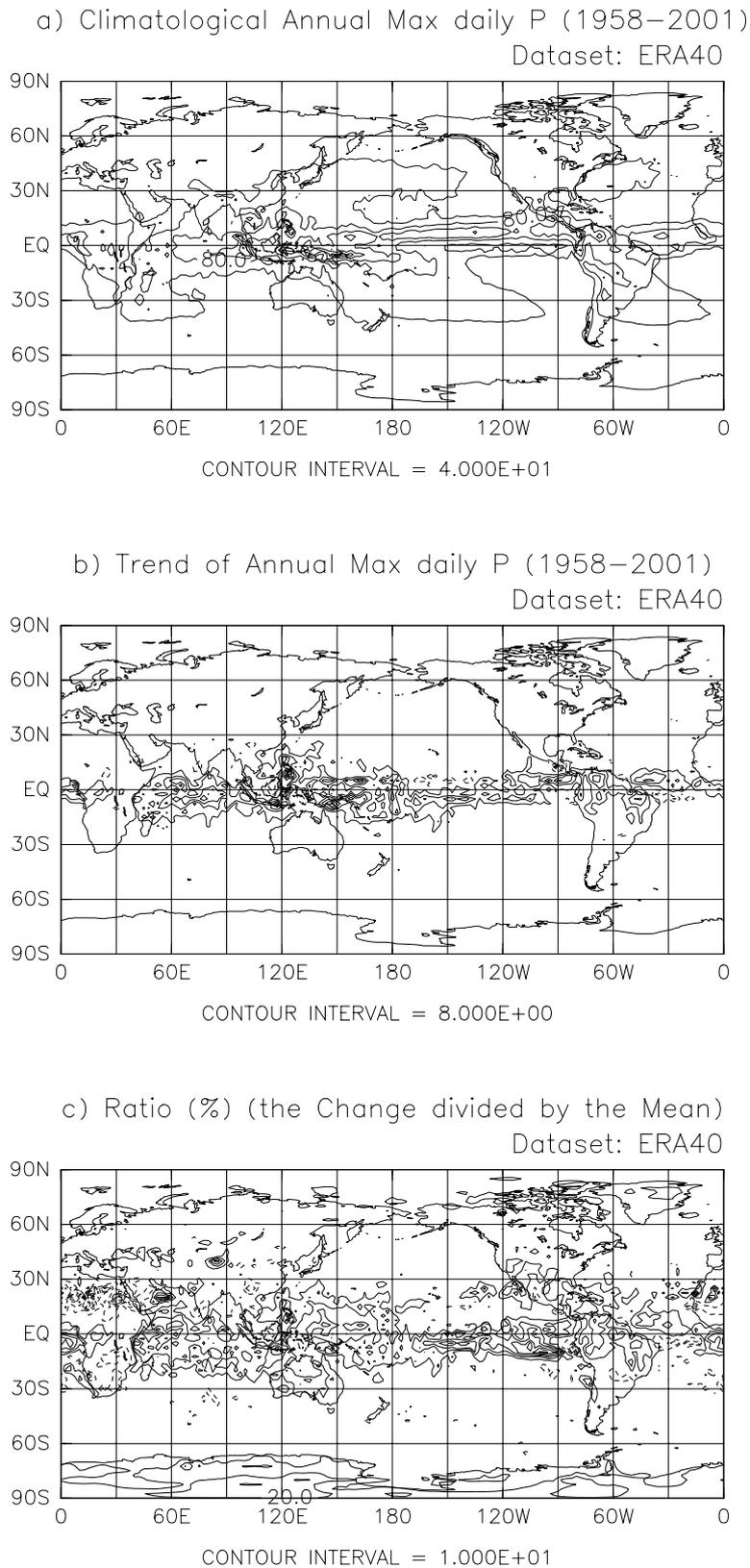


Fig. 8 The same as in **Fig. 5**, except for annual maximum daily precipitation rates of the ERA40. The contour interval is a) 40mm/day, b) 8mm/day/decade, and c) 10%/decade.

Fig. 6b と同程度の大きさで示される。従って、それら以外の領域では大規模凝結が関連する。

年最大日降水量の平均降水量に対する変化傾向の割合の分布 (Fig. 6c) は平均日降水量の分布 (Fig. 5c) と似ているが、アフリカ大陸上の減少傾向が特に目立っている。

3.3 ERA40 の特徴

Fig. 7 は、ERA40 データの年平均日降水量について調べた Fig. 5 と同様の図である。ERA40 データの年平均日降水量の変化傾向 (Fig. 7b) は、西太平洋、インド洋、赤道付近の南アメリカ大陸で増加傾向を示すが、NCEP 再解析データ (Fig. 5b) で見られたような大きな減少傾向はない。ただ、年平均日降水量の平均値に対する変化傾向 (Fig. 7c) では、アフリカ大陸上に減少する傾向がある。これは、NCEP 再解析データと ERA40 データでアフリカ大陸上の平均降水量が異なるためである。このアフリカ大陸上の減少傾向は、観測データの Fig. 1 と一致している。また、東部太平洋の赤道付近より南に位置する海域やメキシコの西岸付近の太平洋上に増加傾向があり、これは NCEP 再解析データ (Fig. 5c) と一致している。しかし、NCEP 再解析データで減少傾向が見られた赤道中央太平洋上や、中国北部・モンゴル域は、ERA40 データでは増加傾向である。

ERA40 データの年最大日降水量 (Fig. 8) の平均的な分布 (Fig. 8a) は、赤道付近を極大とするパターンであり、中緯度に極大を持つ NCEP 再解析 (Fig. 6) と異なる。また値は NCEP 再解析データの場合より大きく、120mm/day の領域がある。なお、中緯度は 40mm/day 程度で、これは NCEP 再解析データの値と同程度である。従って、両者の違いが熱帯で大きいことがわかる。

年最大日降水量の変化傾向 (Fig. 8b) で、NCEP 再解析データと同様に、南シナ海や、インド洋、オーストラリア上で増加傾向を示すが、それらだけではなく、赤道を中心とした熱帯全体に大きな値がひろがっている。NCEP 再解析データのような顕著な減少傾向はない。また NCEP 再解析データと比べて、等値線が非常に細かく込み入っている。

この等値線が込み入った特徴は、平均降水量に対する変化傾向の割合 (Fig. 8c) にも共通している。平均降水量に対する同様の図 (Fig. 7c) と似た特徴 (熱帯インド洋から西太平洋にかけての領域や東部太平洋の赤道より南の海域における増加傾向) が

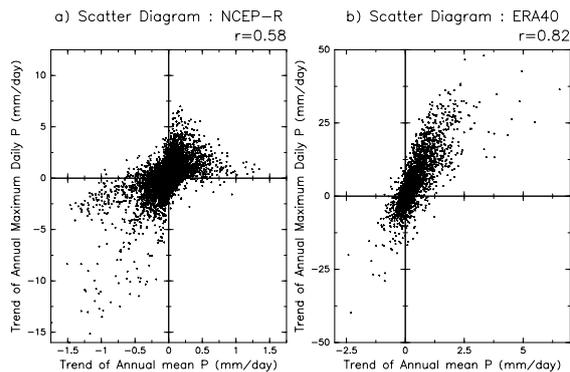


Fig. 9 Scatter diagrams between the linear trend of annual mean and annual maximum daily precipitation rates for a) the NCEP reanalysis and b) ERA40.

示されているが、等値線がギザギザとしている。これは、ERA40 データの年最大日降水量がある程度の空間スケールで見られるのではなく、特定の格子点で顕著に示される傾向があることを示唆している。NCEP 再解析データとは異なる結果であり、この違いは降水スキームに関連していると考えられる。

3.4 平均降水量と年最大日降水量の関係

Fig. 1 で、観測値に対する、世界の各地域における、雨季の激しい降水量と全降水量の線形傾向の関係を示した。NCEP 再解析データと ERA40 データで、両者の関係を調べた。Fig. 9 は、各格子点における、年平均降水量の長期変化傾向 (線形回帰係数) と年最大日降水量の長期変化傾向 (線形回帰係数) の関係を示している。

図から両者の正相関の関係がわかる。NCEP 再解析データの相関係数は 0.58、ERA40 データの相関係数は 0.82 である。すなわち、年平均降水量が増加 (減少) する傾向がある格子点で、年最大日降水量が増加 (減少) する傾向がある。この特徴は ERA40 データの方で強い。

4. むすび

米国大気海洋庁の NCEP 再解析データと欧州中期予報センターの再解析データ (ERA40) の降水量を用いて、年平均降水量・年最大日降水量について 1958 年 ~ 2001 年の期間の、全地球スケールの傾向を調べて以下の結果を得た。

1) NCEP 再解析の全球平均した年平均降水量は

弱い減少傾向を示すが、ERA40 は増加傾向を示す。一方、全球平均した年最大日降水量に関して、大きさが異なるものの、両者で増加傾向が見られる。

2) NCEP 再解析データの年平均日降水量には、インド洋・西太平洋・南アメリカ大陸の赤道付近に増加傾向があり、赤道中央太平洋・アフリカ大陸上で減少傾向がある (Fig. 5b)。一方、ERA40 データの年平均日降水量において、西太平洋、インド洋、赤道付近の南アメリカ大陸で増加傾向を示すが、大きな減少傾向はない (Fig. 7b)。

3) NCEP 再解析データの平均降水量に対する変化傾向の割合の分布で、オーストラリア大陸上、メキシコの西岸付近の太平洋上、ペルー沖の 10°S の東部太平洋上で増加傾向や、アラビア半島上や 40°N 付近の中国北部からモンゴルにかけての領域で減少傾向がある (Fig. 5c)。ERA40 データの平均降水量に対する変化傾向の割合の分布では (Fig. 7c)、アフリカ大陸上に減少する傾向があり、大きさが異なるものの、NCEP 再解析データと一致する。また、東部太平洋の赤道付近より南に位置する海域やメキシコの西岸付近の太平洋上に増加傾向があり、これは NCEP 再解析データと一致している。しかし、NCEP 再解析データで減少傾向が見られた赤道中央太平洋上や、中国北部・モンゴル域は、ERA40 データでは増加傾向を示す。

4) NCEP 再解析データの年最大日降水量は、北半球中緯度ストームトラック域、南半球の緯度 30 度付近で大きい気候学的な特徴を持つ (Fig. 6a)。一方、ERA40 データの年最大日降水量の気候学的な分布 (Fig. 8a) は、赤道付近を極大とするパターンである。NCEP 再解析データの年最大日降水量において、南シナ海から日本付近の北西太平洋上にかけて領域や、インド洋、オーストラリア上で増加傾向、アフリカ大陸上で減少傾向である (Fig. 6b)。年最大日降水量の変化傾向 (Fig. 8b) で、NCEP 再解析データと同様に、南シナ海や、インド洋、オーストラリア上で増加傾向を示すが、それらだけではなく、赤道を中心とした熱帯全体で値が大きい。

5) NCEP 再解析データや ERA40 データに、年平均降水量が増加 (減少) する格子点で、年最大日降水量が増加 (減少) する傾向がある。この特徴は ERA40 データの方で強い。

これらの結果は、観測値ではなく、降水スキームによる数値モデルの計算結果であることに注意しなければならない。また上記の結果は、使用されている降水のパラメタリゼーションに大きく結果が依存していることを示しており、降水スキームに関する

開発・改良やその限界についての強力な研究推進が期待される。

謝 辞

図の作成には地球流体電脳ライブラリを使用した。

参考文献

- 岩嶋 樹也・久保田 拓志・鬼頭 昭雄 (2003): 大気中二酸化炭素濃度漸増モデル実験による降水量極値に関する解析, 京都大学防災研究所年報, 第 46 号 B, pp. 479-486
- 佐藤 伸亮・岩嶋 樹也・鬼頭 昭雄 (2002): 大気中二酸化炭素濃度漸増モデル実験における全球水収支と降水量極値に関する解析, 京都大学防災研究所年報, 第 45 号 B, pp. 245-259
- 時岡 達志・山岬 正紀・佐藤 信夫 (1993): 気象の数値シミュレーション, 東京大学出版会.
- Easterling, D. R., Evans, J. L., Groisman, P. Ya., Karl, T. R., Kunkel, K. E. and Ambenje, P. (2000): Observed variability and trends in extreme climate events, Bull. Amer. Meteor. Soc., 81, pp. 417-425.
- ECMWF (2003): The Era-40 archive, available from http://www.ecmwf.int/research/era/Products/Archive_Plan/.
- IPCC (2001): Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [Houghton, J.T., Ding Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., and Johnson, C.A. (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Janowiak, J. E., Gruber, A., Kondragunta, C. R., Livezey, R. E., and Huffman, G. J. (1998): A comparison of the NCEP-NCAR Reanalysis Precipitation and the GPCP Rain Gauge-Satellite combined dataset with observational error considerations. J. Climate, 11, pp. 2960-2979.
- Kalnay, E., and coauthors (1996): The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, pp. 437-471.
- Kanamitsu, M. (1989): Description of the NMC global data assimilation and forecast system, Wea. Forecasting, 4, pp. 334-342.

- Kanamitsu, M. and coauthors (1991): Recent changes implemented into the global forecast system at NMC. *Wea. Forecasting*, 6, pp. 425–435.
- Kuo, H. L. (1965): On the formation and intensification of tropical cyclones through latent heat release by cumulus convection. *J. Atmos. Sci.*, 22, pp. 40–63.
- Kuo, H. L. (1974): Further studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large-scale flow. *J. Atmos. Sci.*, 31, pp. 1232–1240.
- Räisänen, J. (2002): CO₂-induced changes in interannual temperature and precipitation variability in 19 CMIP2 experiments, *J. Climate*, 15, pp. 2395–2411.
- Tiedtke, M. (1989): A Comprehensive Mass Flux Scheme for Cumulus Parameterization in Large-Scale Models, *Mon. Wea. Rev.* 117, pp. 1779–1800.
- Tiedtke, M. (1993): Representation of Clouds in Large-Scale Models, *Mon. Wea. Rev.*, 121, pp. 3040–3061.
- Tokioka, T., Noda, A., Kitoh, A., Nikaidou, Y., Nakagawa, S., Motoi, T., Yukimoto, S. and Takata, K. (1995): A transient CO₂ experiment with the MRI CGCM -Quick report-, *J. Meteor. Soc. Japan*, 73, pp. 817–826.
- Trenberth, K. E. and Guillemot, C. J. (1998): Evaluation of the atmospheric moisture and hydrological cycle in the NCEP / NCAR reanalysis. *Clim. Dyn.*, 14, pp. 213–231.
- Troccoli, A. and P. Källberg (2004): Precipitation correction in the ERA-40 reanalysis. ERA-40 Project Report Series No. 13, available from <http://www.ecmwf.int/publications/>.
- Wu, R. and Xie S.-P. (2003): On Equatorial Pacific Surface Wind Changes around 1977: NCEP-NCAR Reanalysis versus COADS Observations, *J. Climate* 16, pp. 167–173.
- Xie, P. and Arkin, P. A. (1997): A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, pp. 2539–2558.

**Long-term trend of global-scale precipitation extreme
- Examination of the NCEP and the ECMWF reanalysis data -**

Takuji KUBOTA, Tatsuya IWASHIMA

Synopsis

Using the NCEP reanalysis data and the ECMWF 40 years re-analysis (ERA40), we investigated global-scale tendencies for annual mean and annual maximum daily precipitation rates during the period between 1958 and 2001. For the NCEP reanalysis data, annual mean precipitation rates slightly decreased during the period, but those for the ERA40 increased clearly. On the other hand, annual maximum daily precipitation rates averaged globally increased for both datasets, although the magnitudes were quite different. Long-term trends of annual maximum daily precipitation differed in the distribution and the magnitude with both datasets except at several grid points. These results suggest that the long-term trend of the precipitation extreme depends upon the precipitation scheme, so it is necessary to investigate the availability of the scheme.

Keywords : precipitation, long-term trend, reanalysis data