

論文内容の要旨

論文題目 地球温暖化に伴う乾燥・半乾燥地域の

気候変動に関する研究

氏名 原田 千夏子

第1章 本研究の目的

近年、温室効果気体の増加に伴う地球温暖化が懸念され始めている。この影響を見積もるため、数値モデルによる将来の気候変動の予測が行われている。特に本研究では、気候変動の影響が顕著に現れる乾燥・半乾燥地域の気候変動に着目し、その影響を推定することを目的とする。数値モデルによる気候変動の推定を行う際、数値モデルの性能を評価する必要がある。その一つの手段は、数値モデルの結果を観測値と比較することである。そのためには、精度の高い観測データが必要である。しかし地上観測点の分布は世界的に大きな偏りがあり、地上の観測データのみでは気候モデルの検証を行うことは不可能である。そこで、人工衛星によるリモートセンシングデータが活用されている。1997年、世界で初めて降雨を直接観測する降雨レーダ（PR）が搭載された熱帯降雨観測衛星（Tropical Rainfall Measuring Mission TRMM）が打ち上げられた。TRMM PRは海上・陸上をほぼ均一な条件で観測することができ、地上観測点の少ない乾燥・半乾燥地域においては特に有用性が期待されている。TRMM PRによる降水量データの精度は、他の観測データとの比較によって検証が行われているものの、乾燥・半乾燥地域を対象にした研究は少ない。そこで本研究では、地上観測点の分布を考慮しながら乾燥・半乾燥地域におけるTRMM PRの精度を検証することを第一の目的とする。そして、TRMM PRデータによって乾燥・半乾燥地域の降水特性を明らかにすることを第二の目的とする。特に降水量の経年変化をもたらす大気大循環場の変動に注目する。また、現在の降水特性の理解に基づき、数値モデルによるシミュレーション結果を検討することにより、地球温暖化に伴う乾燥・半乾燥地域の水循環変動の推定を行うことを第三の目的とする。

第2章 乾燥・半乾燥地域のTRMM PRデータと地上観測値の比較

本章では、オーストラリア内陸の乾燥・半乾燥地域を対象に、オーストラリア気象局による地上観測データと比較することによって、TRMM PRの降水データ精度の検証を行った。

データの比較は、1998年から3年間の季節平均（3ヶ月平均）値を経緯度 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ グリッド毎に平均して行った。地上観測点が5点以上あり、TRMM PRの観測が十分行われている乾燥・

半乾燥地域の 26 グリッド (Figure 1) で比較した結果, TRMM PR (2A25) のバイアスは季節変化が大きく, SON (9-11 月)・DJF (12-2 月) に正のバイアス (TRMM の過大評価) となることがわかった (Figure 2). オーストラリア内陸の乾燥・半乾燥地域は, 熱帯・亜熱帯の降水の影響を受け, 季節によって降水特性が変化している. そこで降水特性の季節変化を調べるため, 3 年間の TRMM PR のパスデータにおいて, 地表面付近の降雨強度が

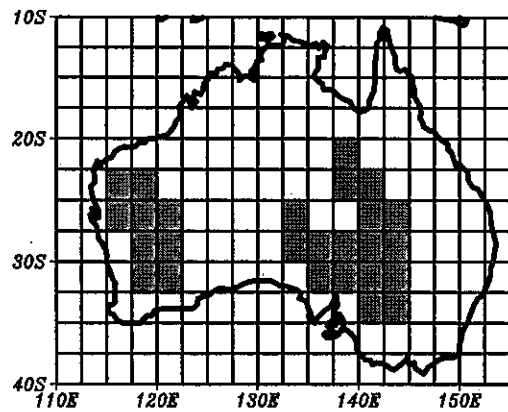


Figure 1. オーストラリアの比較対象グリッドの分布.

0.3mm/hour 以上のピクセルが 4 ピクセル (約 73.96km²) 以上連続している場合を降水イベントとして抽出した. そして, 観測された降水イベントを降水面積, 最大降雨強度および降水の種類 (対流性・層状性), 降雨頂高度によって分類した. その結果, TRMM PR が正のバイアスを示す SON・DJF は, 最大降雨強度および降雨頂高度が大きい対流性降水イベント (DC) の数が他の季節より多いことがわかった. そこで DC が観測されたグリッドのみを対象に

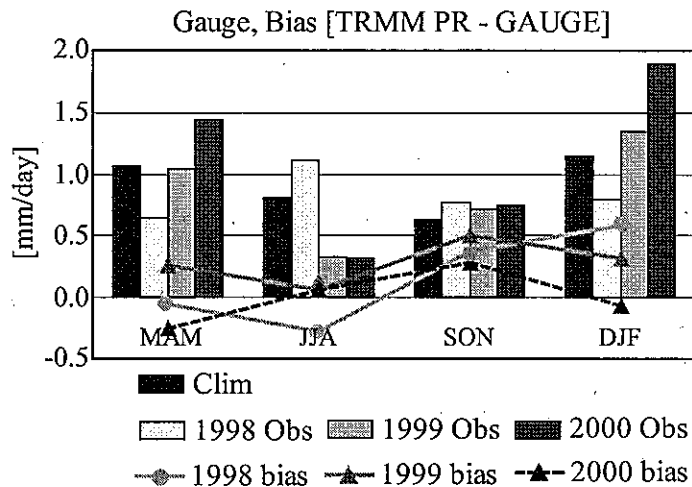


Figure 2. 3年間の降水量の平年値 (Clim), 地上観測値 (Obs), TRMM PR のバイアス (bias) の季節平均値.

地上観測データとの比較を行うと, 1 グリッドの正のバイアスの最大値が大きく, 最大降雨強度および降雨頂高度が大きい層状性降水イベント (DS) の 4 倍となっていた. バイアスを全グリッドで平均すると, DS では 3 年間を通して 5mm/day 以下の正のバイアスとなっているのに対し, DC は 2000 年 JJA (6-8 月) を除いて 8mm/day 以上の正のバイアスとなっていた. このことから, 最大降雨強度と降雨頂高度の大きい対流性降水イベントが, TRMM PR の正のバイアスに大きく寄与している可能性があることが示唆された.

これまで乾燥・半乾燥地域を対象に TRMM PR のデータ精度を検証した研究では, バイアスの経年変化に言及したものはなかった. 本研究では TRMM PR の季節平均データを地上観測データと比較した結果, 降水量の経年変化が大きい乾燥・半乾燥地域では, TRMM PR のバイアスの傾向も年によって変化していることが明らかとなった.

第 3 章 TRMM PR データによるサハラ砂漠域の降水変動

乾燥・半乾燥地域における TRMM PR データの精度に関する定量的な検証をふまえ, 本章では世界最大の乾燥・半乾燥地域であるサハラ砂漠域を対象とし (Figure 3), TRMM PR データを使用して 4 年間の降水に関する定性的な分析を行った (Harada et al., 2003). 1998-2001 年の TRMM

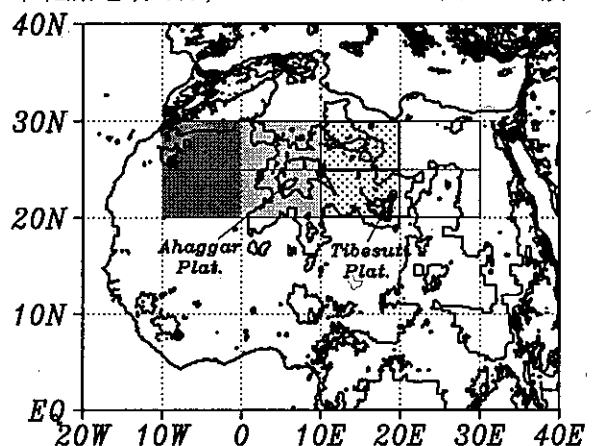


Figure 3. サハラ砂漠域の高度分布. コンターの間隔は 500m. 降水量を分析した領域はシェードをかけてある.

PR データ (3G68) から、サハラ砂漠域の降水エリアが次のような季節変化をしていることがわかった。10-4 月は主に北部で降水が観測され (冬雨期), 7-9 月は南部の降水が多くなっている (夏雨期)。また, 5-6 月は北部・南部両方で降水が観測される, 降水タイプの遷移期であることがわかった。年間を通してサハラ砂漠域東部の降水は少量となっていた (Figure 4)。

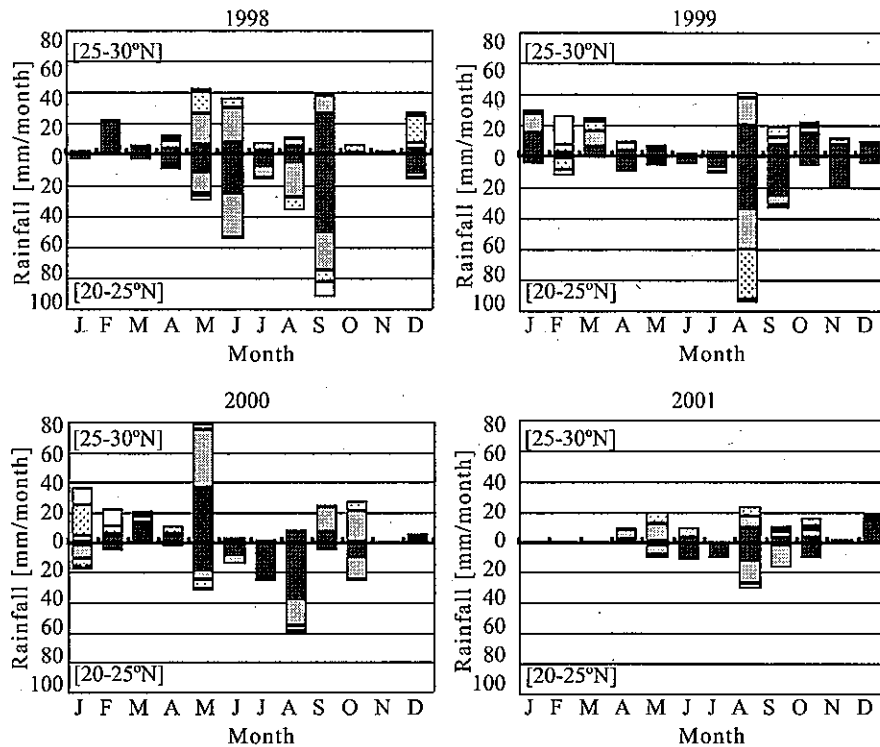


Figure 4. 1998-2001年のサハラ砂漠域の月積算降水量. シェードのパターンは Figure 3に対応している. グラフの下部はサハラ砂漠域南部 (20°-25°N), 上部は北部 (25°-30°N)の降水量を示す.

さらに, NCEP 再解析データを使用して, サハラ砂漠域の降水エリアの季節変化と, 北アフリカ上空の東西風の変化との関連を調べた。その結果, 5 月に降水量が多かった年は, 平年に比べ中緯度上層 200hPa の偏西風が平年より強化していた。また, 8 月に多雨であった年は中層 600hPa のアフリカ偏東風ジェット (AEJ) のコアが北上し強化していた。

第 4 章 地球温暖化に伴う乾燥・半乾燥地域の降水変動

東京大学気候システム研究センター (CCSR)・国立環境研究所 (NIES)・地球環境フロンティア研究センター (FRCGC) による, 地球シミュレータを使用した地球温暖化予測実験の結果を使用して, 温室効果気体の増加に伴う乾燥・半乾燥地域の水循環変動を分析した。この実験では, 大気が約 100km, 海洋が約 20km というこれまでにない高解像度の大気海洋結合モデルが用いられている。まず 20 世紀気候の再現実験結果を観測値と比較し, モデルの再現性を確認した。次に IPCC の温室効果気体排出シナリオ A1B による予測実験結果を使用して, 南北半球の 5ヶ所の乾燥・半乾燥地域 (サハラ砂漠域, サヘル, 中央アジア, オーストラリア内陸, アメリカ西部) (Figure 5) の JJA (6-8 月)・DJF (12-2 月) の気候の変化を調べた。地表気温は JJA のオーストラリアを除き, 全球平均を上回る昇温を示した。降水量はサハラ砂漠域・中央アジアでは JJA・DJF とともに全球平均の増加率を超え, サヘル・オーストラリアでも増加したのに対し, アメリカ西部では減少していた (Figure 6)。温暖化に伴い降水量が増加するサハラ砂漠域・サヘル・中央アジアでは土壌水分も増加するのに対し, 降水量が減少傾向のアメリカ西部では土壌水分も減少していた。オーストラリアでは, 降水量は増加するものの流出も増加するため, 土壌水分は

JJA・DJFともに減少していた。

温暖化実験では、JJAのサハラ砂漠域の降水量の増加傾向が示された。第3章で、現在の8月の降水量が平年値を上回っている年は、AEJが北上していたことを示した。そこで現在の気候に関する知見に基づき、温暖化実験における8月のサハラ砂漠域の降水量の増加メカニズムを検討した。温暖化実験では北

アフリカ陸上の熱的低気圧が弱まるため、サハラ砂漠域からの乾いた北東風が弱まるとともにアフリカモンスーンが強まり、ギニア湾からの水蒸気輸送が強くなっていた。また、温暖化に伴ってサヘル気候の南北勾配が変化したため、AEJのコアが北上し、AEJに伴う東風領域がより上空まで広がっていた。これらのことから、温暖化に伴うサハラ砂漠域の8月の降水量の増加は、現在のメカニズムと整合性があることが示された。

第5章 結論

第2章では、オーストラリア内陸の乾燥・半乾燥地域を対象にTRMM PRの精度の検証を行い、最大降雨強度と降雨頂高度の大きい対流性降水イベントがTRMM PRの過大評価に大きく寄与する可能性があることが示唆された。第3章では、TRMM PRデータを使用して、サハラ砂漠域の降水の季節・経年変化を明らかにした。さらに、NCEP再解析データを使用して、降水変動と上空の東西風との関連を調べた。第4章では、5ヶ所の乾燥・半乾燥地域を対象に、高解像度の大気海洋結合モデルによる温暖化実験結果を分析し、降水量や降水特性の変化傾向の違いを示した。また、温暖化に伴う8月のサハラ砂漠域の降水変動メカニズムが、現在気候の知見と整合性があることを示した。

本研究では、第2章で南半球のオーストラリアを対象とし、第3章で北半球のサハラ砂漠域を対象とすることによって、グローバルな乾燥・半乾燥地域に対するTRMM PRデータの適用を試み、その有用性を示すことができた。

大気中の温室効果気体の増加が地球の水循環に与える影響に関しては、未だ不確定要素が多い。しかしながら、地球シミュレータのような高い計算能力を有するスーパーコンピュータが開発され、高解像度の大気海洋結合モデルによる地球温暖化予測実験が可能になった。数値モデルが高解像度になると、地形をより正確に表現できるようになるため、これまで表れていなかった細かな現象が再現できるようになり、シミュレーションの品質が向上していくことが期待できる。今後、高解像度のモデルを使用した研究や地球観測技術のさらなる発展が、持続可能な社会の構築に貢献することを期待する。

[Reference] Harada, C., A. Sumi, and H. Ohmori, Seasonal and year-to-year variations of rainfall in the Sahara desert region based on TRMM PR data, *Geophysical Research Letters*, 30 (6), 1288, 2003.

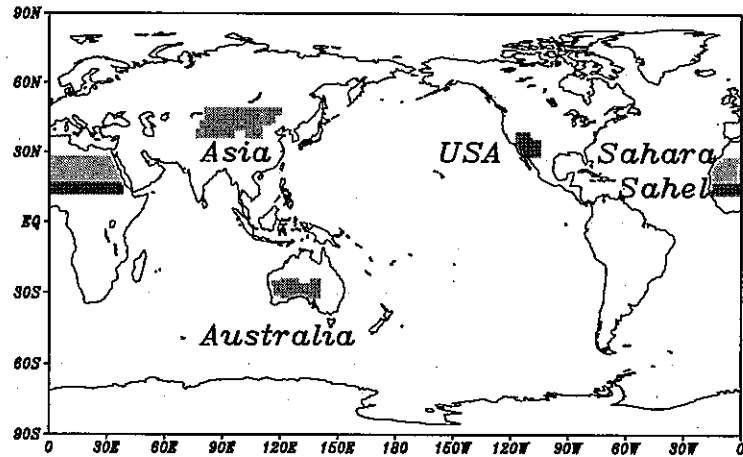


Figure 5. 温暖化実験結果を分析した5ヶ所の乾燥・半乾燥地域の分布。

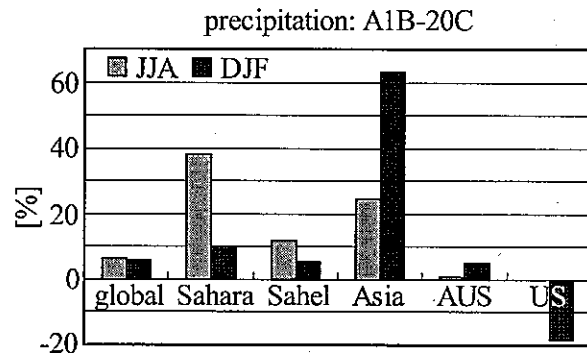


Figure 6. 温暖化実験におけるJJA・DJFの降水量の20世紀気候からの偏差。