

京都大学	博士（工 学）	氏名	木島 梨沙子
論文題目	A Study on Effective Spatial Pooling Procedure in Estimation of Return Values of Precipitation for Adaptation to Climate Change（気候変動への適応に向けた確率降水量推定における効果的な空間プーリング手法の研究）		
（論文内容の要旨） 本論文は、温暖化に伴う気候変動下での将来気候状態における降雨災害の予測や評価に重要となる、信頼性の高い確率降水量の将来変化の推定手法を研究した成果についてまとめたものであり、全7章からなっている。 第1章は序論であり、本論文の背景、目的、構成を述べている。背景では、近年の降雨災害の事例から降雨災害をもたらす降雨のタイプやその地域依存性について述べている。また近年の複数の全球気候モデル（Global Climate Model, GCM）を用いた温暖化実験や理論から明らかとなった、降雨特性の変化についての所見について述べるとともに、GCMによる将来予測の問題点として予測結果に含まれる不確実性について述べている。目的では、背景を踏まえ、本研究が目指すところとして、超高解像度のGCMによる極端降雨統計量を用いて、信頼性の高い確率降水量の将来変化を推定する手法ならびにその評価を行うことを述べている。 第2章は、解析に用いる気象庁気象研究所が開発した超高解像度 20km 全球気候モデル（GCM20）について述べている。また衛星観測値との比較を通してモデルから算定される降雨量の再現精度を評価している。 第3章は、GCM20 による年最大日雨量（Annual Maximum Series, AMS）を用いて現在気候と将来気候における確率降水量の全球推定を試みている。先ず現気候再現の AMS が雨量計観測の AMS と十分比較可能であることを示している。その上で AMS が従う確率分布や 100 年確率降水量を検証している。現在気候における 100 年確率降水量の推定精度はかなり良いことが確認されている。一方で、その将来変化（将来と現在の差）は、多くの地域で増加傾向が見られたものの、空間的なノイズが目立つことを示している。この原因としてはデータの年数が 25 年と少ないために標本誤差の影響が大きいことを挙げている。また、アジア域においては、年最大 D（=1, 7, 15）日雨量の将来変化ならびにその生起季節についての評価も行っている。将来変化が顕著であった 15 日雨量の生起季節の変化については気象学的な原因を探り、大規模大気スケールの影響であることを示唆している。 第4章は、25 年というデータの年数において推定した確率降水量の標本誤差の幅をリサンプリング手法であるジャックナイフ法を用いて評価している。結果として、標本誤差の幅を超えて将来の確率降水量の増加傾向が顕著であるのは、1)各 20km メッシュでは全体の約 6 割、2)アジア域平均、であることを示している。さらに将来気候の AMS の変化に対する統計的有意性を検定するために、SN 比（Signal-to-Noise Ratio, SNR）を用いた検定も行っている。各メッシュにおける将来変化の統計的有意性は、隣接するメッシュの AMS も標本とする空間的なプーリングを 100km スケールで行うことで向上し、その結果として9 割以上の地域で統計的有意性が認められることが示されている。すなわち、1)標本サイズが十分であれば、多くの地域で将来変化は統計的に有意になること、2)空間プーリングが将来変化を検出するのに有効なこと、が示され			

京都大学	博士（工 学）	氏名	木島 梨沙子
ている。 第5章は、温暖化の影響と見なせる信頼性の高い将来変化が捉えられる空間スケールを評価するために、空間プーリングを行う広がり（範囲）を変化させて解析を行っている。本研究では、降雨特性を活かした距離を3種類定義し、その距離で影響範囲（Region of Influence, ROI）を設定し空間プーリングの広がりを定めている。またその範囲に含まれるメッシュ値は、各種類の距離の差に応じて重み付けすることで極値統計量を算定している。本研究では、降雨現象が起因していると考えられる AMS の生起季節、地形の影響を保存すると考えられる日降雨量の二次モーメント、ならびにメッシュ間距離によって ROI を設定する距離を定義している。また、降雨特性3種類の各距離に加え、空間スケールの最大距離として 100 km～10000 km の各オーダーを考察している。この手法を用いて観測雨量の確率降水量推定を行った結果、生起季節は比較的大きなスケールの気象現象に起因しており、日降雨量の二次モーメントはローカルな気象現象を保存していることから、その特徴が推定される確率降水量にも見られ、生起季節を元にした距離を用いた場合は滑らかな、日降雨量の二次モーメントを元にした距離を用いた場合は局所性を保存した空間分布になった。またプーリングした推定値は約 1000 km～2000 km 以下のスケールであれば、地点推定値との差が小さいことがわかった。また確率分布の形状母数は約 1000km スケールで空間的に滑らかな分布となったが、これはメソスケール以下の小さいスケールの擾乱などの影響がスモージングされるからであることを示唆している。 第6章は、5章で検討した ROI 法を用いて確率降水量の将来変化の評価に適切な空間スケールならびに将来変化の気象学的要因を探っている。約 1000km～2000km スケールのプーリングにおいて、大規模大気循環等の変化がその空間分布に顕著に見られ、温暖化による将来変化として有意性・信頼性の高い空間分布が認められた。また加えて、5章で定義した距離の定義として日降雨量の二次モーメントを用いると局所的な影響が保存されるため、生起季節やメッシュ間距離のみを距離の定義に用いた方が、大きな気象現象に対応した滑らかな将来変化の空間分布が得られることが示された。最後に、アジアの各地域ならびにメガシティと山岳域を含む 15 地点について、各空間スケールで確率降水量を評価している。各地域、地点とも 100 km スケールのプーリングでは変動幅が大きく将来変化が有意に表れていないのに対し、1000km～2000km スケールのプーリングでは、ほとんどの地域で将来気候の確率降水量が現在気候の 1 標準偏差よりも増加しており、温暖化の影響が明確であることが認められた。またこれらの全ての地域や都市で、現在に比べて将来の年最大日降水量の 100 年確率値が約 1.1～1.3 倍となることが示された。 第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。			

氏 名	木島 梨沙子
-----	--------

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、温暖化に伴う気候変動下での確率降水量の将来変化の推定手法を研究し、空間プーリング法に着目することで信頼性の高い確率降水量の将来変化を得ることに成功したものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 20km 全球気候モデルにおける年最大日雨量の再現性の評価を全球スケールで行い、雨量計の観測値と十分比較可能であることを示した上で、年最大日雨量が従う確率分布や推定された 100 年確率降水量を評価した。
2. アジア域において、年最大 D (=1, 7, 15) 日雨量の将来変化ならびにその生起季節についての評価を行った。顕著な変化が見られた 15 日雨量の生起季節については気象学的原因を探り大規模大気スケールの影響であることを示した。
3. 確率降水量の推定値に含まれる小標本に起因する不確実性を評価し、25 年のデータをもとにした 20km メッシュ推定値では将来変化が有意な地点は 6 割程度であることを示した上で、100km スケールにプーリングすることで、9 割以上の地域で統計的有意性が認められることを示した。
4. 信頼性の高い将来変化が捉えられる空間スケールを評価するために、年最大日降雨量の生起季節や日降雨量の 2 次のモーメントといった降雨の属性を考慮した空間プーリング法を検討した。その結果、約 1000 km～2000 km 以下のスケールによる空間プーリングであれば地点推定値との推定誤差が小さい空間プーリング手法が開発された。
5. 上記の手法を用いてさまざまな空間スケールによる確率降水量の将来変化を評価した結果、100 km スケールでは、標本サイズとしては十分なものの、局所的な気象現象の変動の影響が大きく、約 1000km から 2000km の空間スケールであれば、将来変化の空間分布として温暖化による応答が顕著な信頼性の高い将来変化が得られることがわかった。
6. またアジアの各地域ならびにメガシティや山岳域を含む 15 地点における確率降水量の将来変化を評価したところ、ほぼ全地域で将来気候の確率降水量が有意に増加しており、温暖化の影響が明確であることが認められた。またこれらの地域や都市で、将来の年最大日降水量の 100 年確率値が約 1.1～1.3 倍となることが示された。

本論文は、確率降水量を推定する際の空間プーリング法に着目し、温暖化による変化が認められる空間スケールを検討することで、信頼性の高い確率降水量の将来変化を推定することに成功しており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 24 年 2 月 20 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。