

可降水量の長期時空間変動評価

1210035 大久保 優華

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

E-mail : 210035x@ugs.kochi-tech.ac.jp

近年異常多雨が発生しており、異常多雨を引き起こす条件として積乱雲の集団発生がある。積乱雲は水蒸気を消費して終息するため、異常多雨は水蒸気による影響が大きい。そこで本研究では、ラジオゾンデ可降水量の長期時間変動傾向を調べ、その空間的特徴と気象要素や海水面温度の関係を明らかにすることを目的とする。

その結果、多くの観測点において可降水量は増加傾向にあり、近年は極端に可降水量が多い日が出現していること、さらに一部の観測点では極端に可降水量が少ない日も出現している可能性が示唆された。また、海水面温度の長期時間変動とラジオゾンデ可降水量の長期時間変動の関係性は明確にならなかった。気象要素との関係は、可降水量の上昇傾向に比べて気温の上昇に伴う飽和水蒸気圧の上昇傾向が大きいことが示唆された。

Key Words : 気象要素, 水蒸気, 温室効果ガス

1. はじめに

可降水量は大気中に含まれる最も支配的な温室効果ガスで、温暖化の進行とともに増加傾向にあると言われている¹⁾。日本では近年九州北部豪雨や西日本豪雨による異常多雨が発生しており、異常多雨は地球温暖化が原因の一つと言われている。異常多雨を引き起こす条件として積乱雲の集団発生があり、積乱雲は水蒸気を消費して終息するため、水蒸気を補給する機構があれば次々と発達することができる。このことから、異常多雨は水蒸気による影響が大きいことが分かる²⁾。そのため、日本の地域別の可降水量の長期時間変動と、その要因について調べる必要があると考えた。

本研究では、ラジオゾンデ可降水量の長期時間変動傾向を調べ、その空間的特徴と気象要素や海水面温度の関係を明らかにすることを目的とする。

2. 手法

2.1 対象地域及び使用データ

本研究では、ラジオゾンデによる観測を行っている高層気象観測所がある稚内、札幌、秋田、輪島、館野、八丈島、潮岬、福岡、鹿児島、名瀬の10ヶ所を対象とする。図1に本研究で用いた高層気象観測所の配置図を示す。

ラジオゾンデ観測は世界中の高層気象観測所で毎日2回同時刻に実施されており、日本では午前9時と午後9時に実施されている。本研究は、ラジオゾンデ観測データから計算された可降水量(これ以降、ラジオゾンデ可降水量と呼ぶ)のデータとしてワイオミング大学が公開している1980~2019年の毎日のデータを利用する³⁾。

また、気象庁の気象観測データ1980~2019年の40年分と海水面温度データを使用する。

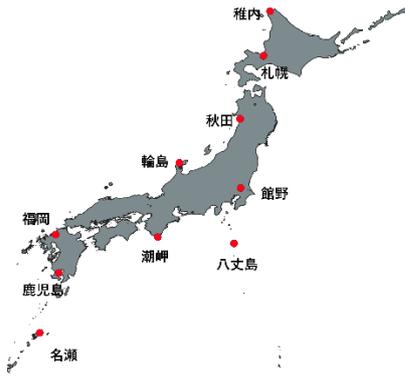


図1 高層気象観測所の配置図

2.2 可降水量の長期時間変動評価手法

各対象地における1980～2019年の40年分のラジオゾンデ可降水量の月平均値と月最高値、月最低値を用いて、Mann-Kendall検定によりラジオゾンデ可降水量の変動傾向を調べ、Sen's Slope⁴⁾を計算し変化率を調べる。Mann-Kendall検定は、ある時系列のデータに対して、それが独立で同一の確率分布に従うという帰無仮説が成立するかどうかを検定する手法である⁵⁾。天候等の影響によって気象データにはランダム性があり、それらの発生確率は正規分布に従うとも限らない。よって確率分布を仮定する必要のないノンパラメトリック検定であるMann-Kendall検定を用いる。

また、月単位の最低値や最高値はある1日の値であるため、極端に大きな値や小さな値となる可能性がある。そこで、月全体の傾向を示す指標として、四分位数の各範囲の月平均値を用いる。各月でラジオゾンデ可降水量の第一四分位数、第三四分位数の値を求める。第一四分位数と第三四分位数を用いて、月毎に25%以下の範囲に入る可降水量の値の月平均値、75%以上の月平均値、25%～75%の月平均値をそれぞれ計算する。その後、1980～2019年の40年分の各範囲の月平均値をそれぞれ用いてMann-Kendall検定を行い、有意水準5%で有意な変動傾向が見られるかを検定する。さらに、月毎にMann-Kendall検定を行い、有意水準5%で有意な変動傾向が見られる月だけを抜き出す。抜き出した月のデータでSen's Slopeを計算し、計算した結果から可降

水量の変化率（100年当たりの変化量）を調べる。

2.3 海面温度の長期時間変動評価手法

2.2と同様に1980～2019年の年間、春(4～6月)夏(7～9月)秋(10～12月)冬(1～3月)のデータを用いて、海面温度の月平均値の長期時間変動について評価する。

2.4 気象要素の長期時間変動評価手法

2.2と同様に1980～2019年の日平均気温、日最高気温、日最低気温、日平均相対湿度、日最低相対湿度の月平均値の長期時間変動について評価する。ラジオゾンデ可降水量の長期時間変動と同様に、各月で第一四分位数と第三四分位数を用いて、25%以下の月平均値、75%以上の月平均値、25%～75%の月平均値をそれぞれ計算する。その後、1980～2019年の40年分の各範囲の月平均値をそれぞれ用いてMann-Kendall検定で変動傾向を調べ、Sen's Slopeにより変化率を調べる。

3 結果と考察

3.1 可降水量の長期時間変動評価

1980年から2019年までの40年間のラジオゾンデ可降水量の長期時間変動について検討を行った。表1、2から全体的に有意な変動傾向がみられることが分かった。表1、2では年間のものを示しているが、月ごとの変動傾向も検討した結果、各観測点で夏から秋にかけて有意な上昇傾向がみられることが分かった。

表1はラジオゾンデ可降水量の月平均値と月最高値、月最低値を用いて検定を行った結果を示している。表1から午前9時及び午後9時の月平均値と月最高値はともに各観測点で有意な上昇傾向を示している。一方、午前9時の可降水量の月最低値の時間変動は八丈島、潮岬、福岡、名瀬は有意な減少傾向にあることが分かる。ラジオゾンデ可降水量の月最大値の100年当たりの変化量を見ると、高緯度地方の稚内、札幌よりも低緯度地方の鹿児島や名瀬が大

きいことが分かる。このことから、月単位で可降水量の変動傾向を見た場合、最小値よりも最大値の方が変化傾向を有意に示し、高緯度地方よりも低緯度地方の方が変化量が大きいことが示唆された。

しかし、月単位の最低値や最高値はある1日の値であるため、極端に大きな値や小さな値となる可能性がある。そこで、月全体の傾向を示す指標として、四分位数の各範囲の月平均値を用いて変動傾向および変化量を求めた結果を表2に示す。表2から、午前9時及び午後9時の25%以下の月平均値と75%以上の月平均値、25%～75%の月平均値は、各観測点で有意な上昇傾向を示していることがわかる。ラジオゾンデ可降水量の75%以上の月平均値の100年当たりの変化量を見ると、高緯度地方の稚内、札幌よりも低緯度地方の鹿児島や名瀬が大きいことが分かり、表1と同じ結果となった。このことから、月単位で可降水量の変動傾向を見た場合、毎日の可降水量は全体的に増加傾向にあり、高緯度地方よりも低緯度地方の方が変化量が大きいことが示唆された。

表1 ラジオゾンデ可降水量の月平均値と月最高値、月最低値による変動傾向と変化率(mm/100年)(00Z;9時 JST 12Z;21時 JST PW;ラジオゾンデ可降水量)

高層気象観測所	Min		Mean		Max	
	00Z	12Z	00Z	12Z	00Z	12Z
稚内	-	-	0.22	0.29	0.70	0.91
札幌	-	-	0.21	0.33	0.68	0.90
秋田	-	-	0.28	0.35	0.64	1.10
輪島	-	-	0.36	0.33	1.05	0.84
館野	-	-	0.51	0.66	1.56	1.22
八丈島	-0.17	-	0.39	0.51	0.68	1.08
潮岬	-0.16	-	0.44	0.47	1.32	1.04
福岡	-0.15	-	0.38	0.42	0.94	1.22
鹿児島	0.15	0.25	1.15	1.28	2.40	2.30
名瀬	-0.20	-	0.61	0.70	1.08	1.21

表2 ラジオゾンデ可降水量の下位25%と25%から75%、上位25%の変動傾向と変化率(mm/100年)(00Z;9時 JST 12Z;21時 JST PW;ラジオゾンデ可降水量)

高層気象観測所	PW ≤ 25%		25% ≤ PW ≤ 75%		75% ≤ PW	
	00Z	12Z	00Z	12Z	00Z	12Z
稚内	-	0.09	0.13	0.19	0.45	0.58
札幌	-	0.09	0.15	0.21	0.45	0.65
秋田	-	0.13	0.2	0.24	0.56	0.73
輪島	0.11	0.12	0.22	0.23	0.76	0.68
館野	-	0.23	0.32	0.50	1.01	1.07
八丈島	-	-	0.22	0.32	0.75	1.00
潮岬	-	-	0.24	0.28	0.91	0.90
福岡	-	-	0.17	0.23	0.83	0.87
鹿児島	0.36	0.44	0.78	0.94	2.06	2.06
名瀬	-	-	0.38	0.49	1.15	1.17

3.2 海水面温度の変動評価

大気中への水蒸気的主要な供給源は海水面からの蒸発と考えられる。ラジオゾンデ観測を行っている高層気象観測所の多くは、比較的海に近い場所にある。したがって、ラジオゾンデ可降水量の長期時間変動には海水面温度の長期時間変動が影響を与えていることが考えられた。

そこで1980年から2019年までの40年間の海水面温度の長期時間変動について調べた。表3に日本海北東域および東シナ海南部域の平均海水面温度の変化率を示す。表3から、日本海北東域の平均海水面温度は東シナ海南部域に比べて上昇傾向が高く、高緯度地方よりも低緯度地方の方が変化量が大きいというラジオゾンデ可降水量の結果とは逆の結果になった。

表3 海水面温度の変動傾向と変化率(°C/100年)

	NIHONKAI_NE	HIGASHISHINA_S
年間	2.80	2.22
春	2.00	1.93
夏	4.18	1.54
秋	4.85	2.30
冬	1.21	2.59

3.3 気象要素とラジオゾンデ可降水量の関係

気温が上昇すると飽和蒸気量も上昇するため、大気中に含むことができる水蒸気量も増加する⁵⁾。これが、可降水量が温暖化とともに増加する要因である。そこで、気象要素とラジオゾンデ可降水量の関係について検討を行った。表4、5は気象要素に関する変化率を示したもので、表4から、多くの観測点で有意な上昇傾向がみられる。一方で、表5では

多くの観測点で有意な減少傾向がみられる。このことから、可降水量の上昇傾向に比べて、気温の上昇に伴う飽和水蒸気圧の上昇傾向が大きいことが考えられる。

表 4 日最高気温, 日平均気温, 日最低気温の下位 25%と 25%から 75%, 上位 25%の変動傾向と変化率 (°C/100 年)

高層気象観測所	MaxTemp			Meantemp			MinTemp		
	≦25%	25~75%	75%≦	≦25%	25~75%	75%≦	≦25%	25~75%	75%≦
稚内	0.29	0.32	0.34	0.27	0.27	0.33	0.26	0.26	0.32
札幌	0.26	0.30	0.37	0.31	0.33	0.39	0.39	0.40	0.45
秋田	0.39	0.41	0.47	0.34	0.34	0.38	0.37	0.36	0.36
輪島	0.36	0.41	0.41	0.30	0.31	0.32	0.26	0.26	0.29
館野	0.42	0.44	0.49	0.44	0.46	0.50	0.47	0.50	0.46
八丈島	-	-	0.18	-	-	-	-	-	-
潮岬	0.25	0.22	0.20	0.26	0.24	0.20	0.28	0.26	0.22
福岡	0.41	0.41	0.40	0.37	0.38	0.35	0.45	0.44	0.38
鹿児島	0.34	0.32	0.27	0.39	0.37	0.30	0.61	0.53	0.35
名瀬	0.21	0.21	0.15	0.19	0.17	0.13	0.21	0.19	0.17

表 5 日平均相対湿度, 日最低相対湿度の下位 25%と 25%から 75%, 上位 25%の変動傾向と変化率 (%/100 年)

高層気象観測所	MeanRH			MinRH		
	≦25%	25~75%	75%≦	≦25%	25~75%	75%≦
稚内	-	-	-	-	-	-
札幌	-0.49	-0.48	-0.50	-0.63	-0.53	-0.55
秋田	-	-	-	-0.45	-0.28	-
輪島	-0.21	-0.36	-0.60	-0.57	-0.61	-0.55
館野	-0.42	-0.41	-0.61	-1.09	-0.90	-0.82
八丈島	1.32	1.40	1.20	-	0.43	1.16
潮岬	0.68	0.51	-	-	-	-
福岡	-0.63	-0.80	-0.67	-0.81	-0.85	-0.88
鹿児島	-0.34	-	-0.32	-	-	-
名瀬	-	-	-	-0.40	-	-0.17

4 まとめ

ラジオゾンデ可降水量を用いて 1980 年から 2019 年までの日本のラジオゾンデ可降水量の長期時間変動傾向および空間的特徴と、気温や海面温度との関係性を評価した。ラジオゾンデ可降水量の変動傾向を検討したところ、上位 25%の月平均値と下位 25%の月平均値はそれぞれ上昇傾向にある観測所が多かった。このことから、多くの観測点において毎日の可降水量が増加傾向にあることが明らかになった。一方、月最小値は一部の観測点で減少傾向にあり、

月最大値はすべての観測点で上昇傾向にあった。

このことから近年は全ての観測点において極端に可降水量が多い日が出現するようになってきており、さらに一部の観測点では、極端に可降水量が少ない日も出現するようになってきていると考えられる。海面温度と可降水量の関係は、ラジオゾンデ可降水量と海面温度の結果が逆になったことから、海面温度の長期時間変動がラジオゾンデ可降水量の長期時間変動に影響を与えているという関係性は明確にならなかった。気象要素とラジオゾンデ可降水量の関係は、多くの観測点で気温の有意な上昇傾向と、相対湿度の有意な減少傾向がみられた。このことから、可降水量の上昇傾向に比べて気温の上昇に伴う飽和水蒸気圧の上昇傾向が大きいことが示唆された。

参考文献

- 1) 気象庁：気候変動監視レポート 2018
- 2) 二宮洗三：豪雨の発生条件と地域的分布特性・特集 防災アセスメント (7)
https://www.isad.or.jp/pdf/information_provision/information_provision/no16/8p.pdf
- 3) Wyoming Weather Web, University of Wyoming.
<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
- 4) 西澤誠也：気象学分野におけるトレンド検出について。https://www.gfd-dennouorg/arch/prepri/2008/kobe-u/081007_epasemi_seiya/nishizawa.pdf
- 5) 村上晃平, 宮本仁志 Mann-Kendall 検定による日本での年平均平衡水温の長期経年変化の傾向分析, 土木学会論文集 B1(水工学), 2018
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejhe/74/4/74_I_577/_pdf/-char/ja
- 6) 日野幹雄：水. 温暖化. 天の川銀河, 2014
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjshwr/27/4/27_155/_pdf/-char/ja