

日本の主な気候区の月降水量特性に及ぼす 月平均気温特性の影響度の統計解析

STATISTICAL ANALYSIS OF EFFECTS OF MONTHLY TEMPERATURE
ON MONTHLY PRECIPITATION PROPERTIES

端野 道夫* ・ 岳 生**
Michio HASHINO, Sheng YUE

ABSTRACT; Stepwise regression analyses of mean and standard deviation of monthly precipitation on mean and standard deviation of monthly air temperature are carried out for sixty observation stations over Japan; Six types of regression models are examined based on AIC criterion, so that the optimum regression model for each observation station is obtained. Using the optimum regression models seasonal changes of mean and standard deviation of precipitation are estimated for three warming scenarios; 1)monthly 0.5°C up, 2)monthly 1.0°C up, and 3)1.0°C up averaged over year.

KEYWORDS; global warming, monthly air temperature, monthly precipitation, regression analysis

1. はじめに

温室効果気体の増加に伴う地球規模の気候変化の見通しについて、地球規模の気候モデルを用いた、多くの研究がなされている。特に、わが国に影響を持つ地域的気候変化については、①冬期の寒気の吹き出しが弱まる傾向にある、②夏のアジアモンスーンが強まる傾向にある、としているが、夏のアジアモンスーンの開始時期や梅雨、台風の動向については結論が得られていないようである¹⁾。

①冬期の寒気の吹き出しの弱まりが具体的にわが国にどのような影響を及ぼすかについては現在の気候モデルからは分からないが、気候に関する知識を基に次のような場合が考えられるとしている¹⁾。すなわち、冷たい季節風の弱まりは寒波自身の弱まりの他に、寒波の回数の減少、あるいは起きる期間の短縮をも意味するが、これは直ちに日本海側での降水（雪）量の減少にはつながらない。大気中の水蒸気の増加に伴い、1回当たりの降水（雪）量は増加することが考えられる。一方、冷たい季節風の弱まりに対応して、日本の南岸沿いを進む低気圧が冬期に現れる頻度が増加し、太平洋岸沿いの降水（雪）量増加をもたらすことが考えられる。②日本の夏の気候については、一つはアジアモンスーンの強化に伴い太平洋高気圧が強まり、より夏らしい夏になるという可能性、もう一つは太平洋高気圧が現在の位置よりも北上し、日本はその南辺に位置して好天に恵まれないという可能性、がある。

このように、現在の気候モデルを主とする気候学的知見では、日本の地域的な気象変化についての定量的な予測は残念ながら不可能であり、気温上昇に伴う日本各地の降水量の変化を定量的に推定することができない。このようなことから、本報告では、日本各地（60地点）の、1951年より1980年の30年間についての、月平均気温の平均、標準偏差および月降水量の平均、標準偏差の資料²⁾を基に、月平均気温の平均と標準偏差を説明変数とした、月降水量の平均および標準偏差に関する（変数増減法による）回帰分析を各地のデータごとに実施し、これから得られた回帰式を用いて、二、三の気温上昇シナリオに対する降水

* ; 徳島大学工学部建設工学科 Civil Engineering, Faculty of Eng., The University of Tokushima

** ; 徳島大学大学院

Graduate School, The University of Tokushima

量の平均、標準偏差変化の地域分布と季節変化を推定する。

2. 変数増減法による月降水量の平均および標準偏差に関する回帰分析

月降水量の平均、標準偏差をそれぞれ、 y_m 、 y_v とし、月平均気温の平均、標準偏差をそれぞれ θ_m 、 θ_v とする。月降水量の平均、標準偏差を、それぞれ月平均気温と標準偏差の関数とみなし、その関数形として表－1のようにそれぞれ6つのタイプの回帰モデルを設定する。すなわち、目的変数としては、 $y(=y_m$ or $y_v)$ をその平均値 $E(y)$ で無次元化したもの、とさらにその対数を取ったもの、2種類を設定する。説明変数としては、その月の気温の平均 θ_m 、標準偏差 θ_v を表－1のように、いずれかの形の変数変換したものを基本説明変数 X_1 、 X_2 とし、(気温平均、標準偏差のそれぞれについて) 前月との単純平均($\theta_{m.a}$ 、 $\theta_{v.a}$)を取り、それらを、いずれかの形の変数変換したものを基本説明変数 X_3 、 X_4 とする。気温標準偏差は常に正数ゆえ、その平均 $E(\theta_v)$ 、 $E(\theta_{v.a})$ で無次元化したものと、その対数を取ったもの、の2種類であるが、気温平均については、℃単位では負数が生じる場合があるため、各月の気温平均を年平均 $E(\theta_m)$ で差し引き、さらに年平均で除し、無次元化した場合の外に、°K単位に変換後無次元化したものの対数を取った場合を考えた。もう一つは、気温平均の年間最小値 θ_{min} (負のときその絶対値) を加えて無次元化し、その対数を取る場合を試行により設定した。つまり、気温平均については、3種類の変数変換を採用した。

表－1 設定した4基本説明変数と目的変数の形

タイプ	目的変数の形	4基本説明変数 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 の形	
1	$Y=y/E(y)$	$X_1=\{\theta_m-E(\theta_m)\}/E(\theta_m)$,	$X_2=\theta_v/E(\theta_v)$
2	$Y=\ln\{y/E(y)\}$	$X_3=\{\theta_{m.a}-E(\theta_m)\}/E(\theta_m)$,	$X_4=\theta_{v.a}/E(\theta_v)$
3	$Y=y/E(y)$	$X_1=\ln[(\theta_m+\theta_{min})/\{E(\theta_m)+\theta_{min}\}]$,	$X_2=\ln\{\theta_v/E(\theta_v)\}$
4	$Y=\ln\{y/E(y)\}$	$X_3=\ln[(\theta_{m.a}+\theta_{min})/\{E(\theta_m)+\theta_{min}\}]$,	$X_4=\ln\{\theta_{v.a}/E(\theta_v)\}$
5	$Y=y/E(y)$	$X_1=\ln[(\theta_m+273)/\{E(\theta_m)+273\}]$,	$X_2=\ln\{\theta_v/E(\theta_v)\}$
6	$Y=\ln\{y/E(y)\}$	$X_3=\ln[(\theta_{m.a}+273)/\{E(\theta_m)+273\}]$,	$X_4=\ln\{\theta_{v.a}/E(\theta_v)\}$

表－2 月降水量の平均、標準偏差に関する回帰モデル式の最適タイプ

最適タイプ	月降水量の平均	月降水量の標準偏差
1	青森10, 岐阜7, 彦根9, 大阪8, 鹿児島7	江差7, 秋田8, 甲府10, 静岡13, 潮岬11 松山7
2	八戸11, 酒田15, 仙台16, 山形17, 鳥取11 徳島6, 宮崎8	山形7, 福島8, 水戸11, 長野9, 大阪7 鳥取10, 松江8, 徳島9
3	稚内12, 横浜10, 甲府13, 富山9, 名古屋17 津13, 松山11, 長崎9	宮古11, 銚子9, 前橋9, 富山11, 名古屋10 彦根10, 和歌山14, 京都10, 大分12
4	宮古13, 宇都宮13, 水戸9, 前橋10, 和歌山9 高松10, 大分9	岐阜10, 鹿児島11
5	網走12, 釧路14, 広尾6, 札幌8, 寿都9 江差14, 秋田11, 銚子11, 東京11, 熊谷13 飯田11, 静岡11, 金沢13, 福井12, 尾鷲13 潮岬13, 京都11, 津山12, 松江12, 浜田11 岡山10, 下関11, 宿毛4	稚内6, 旭川9, 広尾14, 札幌11, 青森13 宇都宮6, 東京11, 福井8, 尾鷲16, 下関12 高知11, 宿毛9, 長崎9, 宮崎7
6	旭川8, 函館11, 盛岡10, 福島1, 新潟9 長野8, 広島12, 高知13, 福島15, 熊本16 岐阜7, 名古屋10, 鳥取10, 大分5, 宮崎7	網走11, 釧路12, 寿都9, 函館12, 八戸9 盛岡11, 酒田7, 仙台14, 新潟9, 横浜12 熊谷10, 飯田12, 金沢11, 津山8, 津山8 浜田9, 岡山13, 広島12, 高松9, 福岡10 熊本15

注：地名の後の数字は統計的に有意な説明変数の数を示す。

これらの基本説明変数を基に、それぞれ2～5次の項を追加し、合計20の説明変数を設定する。なお、変数増減法による回帰分析に用いるデータ数は、各月および、前後の月の平均の24組である。

3. 月降水量特性（平均、標準偏差）の回帰分析結果

表－1の6つのタイプの回帰モデルについて、赤池の情報基準AICを用いた、変数増減法による回帰分析を実施し、決定係数 R^2 （重相関係数 R の2乗）はすべての回帰モデルについて、元の目的変数 y に戻した上で評価し、AIC最小の回帰モデル式と統計的に有意な説明変数を、各地点の月降水量の平均、標準偏差のそれぞれについて、確定した。回帰モデル式の最適タイプと有意な説明変数の数を表－2に示す。月降水量の平均 y_m 、標準偏差 y_v に関する決定係数 R^2 は、それぞれ最低0.950、0.950、最高1.000、0.999、平均0.989、0.988となり、得られた回帰モデル式の適合度は十分高いと言える。表－2より明らかのように、月降水量平均についてはタイプ5が、月降水量の標準偏差についてはタイプ6が最適である地点がもっとも多くなっている。また、統計的に有意な説明変数の数の平均は、降水量の平均、標準偏差のいずれも10個である。

4. 気温上昇シナリオに対する降水量特性の変化

3. で得られた、各地の月降水量の平均、標準偏差とその地の月平均気温の平均、標準偏差の関数関係が将来の気温上昇時にも、そのまま適用できると仮定する。この仮定の妥当性については、別途、気象学的な裏付けが必要と思われるが、月平均気温の変化に伴い、例えば、梅雨入り、梅雨明け時期、夏冬のモンスーンの張り出し時期、等が変化すると見なせば、それに対応して月降水量も変化するだろう。また、月平均気温の標準偏差が日本では、各地、各月ともおよそ1℃前後であり、この程度の気温変化に対する、回帰モデル式の信頼度は十分と考える。

そこで、表－3のような3つの気温上昇シナリオを想定し、これらの気温上昇シナリオに対す月降水量の平均、標準偏差の変化量を推定する。各月の気温標準偏差は、1951-1980年間の月変化のままとする前提条件の下に、各月の気温平均が1951-1980年間を基準に何度か上昇した場合を想定する。シナリオ1（S1）は各月とも0.5℃上昇した場合、シナリオ2（S2）

表－3 気温上昇シナリオ

シナリオ1（S1）：	各月	0.5℃	上昇
シナリオ2（S2）：	各月	1.0℃	上昇
シナリオ3（S3）：	年平均	1.0℃	上昇
(1-3月1.5℃, 7-9月0.5℃, 他月1.0℃)			

は各月とも1.0℃上昇した場合である。シナリオ3（S3）は年間平均ではシナリオ2と同じ1.0℃上昇であるが、各月1.0℃上昇ではなく、1-3月は大きく1.5℃、7-9月は小さく0.5℃、その他の月は1.0℃上昇した場合である。シナリオ3は、徳島の過去約100年間の各月平均気温の長期変動解析結果³⁾（冬期の上昇トレンドが最も大きく、夏期の上昇トレンドは最小）を参考にして設定した。

3. で得られた各地の回帰式は、決定係数が十分高いとはいえ、各月の降水量にして数mm程度の回帰誤差を持っているので、この各月の誤差を各月の補正量として、回帰式による推定値に加えることにする。

4. 1 地域分布

シナリオ1、2、3の年間降水量の平均および標準偏差の変化率の地域分布は、10% 間隔ではまったく同じであったのでシナリオ2の場合を図－1に示す。図－1によれば、北海道、東北、関東、四国等で平均年間降水量は増加、北陸、中国、九州のほぼ全域で減少となっているがいずれも10% 以内に収まっている。一方、標準偏差の地域分布は、西日本では平均と概略同様な傾向を示しているが、北海道中央部で増加率が10%を越え、北陸は増加、東北の一部が減少に転じている。

シナリオ2の、3-5月（春期）、6-7月（梅雨期）、8-9月（夏期）、10-11月（秋期）および12-2月（冬

期)の期間平均降水量の変化率を図-2に示す。3-5月の変化率の地域分布は、北海道の西部を除き全国的に増加傾向を示す。6-7月では、北海道、東北、北陸、中部は増加、関東、近畿、中国、四国、九州は減少傾向である。8-9月では、北海道、東北の一部、東海の一部、紀伊半島の一部を除く広い範囲で減少傾向であり、特に、中国と、九州の一部で減少率が10%を越えている。10-11月では、東北から福井あたりにかけての日本海海岸線で減少、その他は増加である。12-2月(冬期)では、北海道の西部、北陸、山陰、九州の北部で減少するのに対し、その他の地域は増加となっている。特に、東北から関東にかけての太平洋側の一部で増加率が10%を越えている。

4. 2 主な地点の季節変化

日本の主な気候区に属し、かつ、シナリオ2で期間降水量の変化率が比較的大きい地点10ヶ所を選び、図-3に示す。1951-1980年間の年間平均降水量(S0とする)を基準に、各シナリオの各期間降水量を百分率で表示する。図中の地名に続く数字は基準年平均降水量(mm)を示し、各シナリオ(S0、S1、S2、S3)に対するシンボルは期間平均降水量を、その上下に伸びる線の長さは降水標準偏差を示す。

札幌は、年間でも季節的にも、降水量の平均は、殆ど気温上昇の影響を受けていないが、8-9月の標準偏差が増加している。釧路は、3-5月、8-11月の平均、標準偏差の微増が年間降水の平均、標準偏差の微増をもたらしている。仙台と宇都宮の季節変化と年間の変化傾向はよく似ている。年降水量の増加傾向は6-9月以外の期間の増加によるものである。

新潟、福井、鳥取では、8-9月と12-2月の減少とそのため年間降水の減少傾向は似ているが、気温上昇の影響は鳥取、福井、新潟の順で強く出ている。大阪は、瀬戸内気候に属するにもかかわらず、約1000mmも年降水量が多い南海気候の鹿児島とよく似た傾向を見せている。すなわち、6-9月の減少がその他の期間の増加を上回り年間降水量の減少となっている。高知は、8-9月は変化なく、6-7月は若干減少気味であるものの他の期間の増加により年間降水量は増加している。

5. まとめ

日本各地(60地点)の、1951年より1980年の30年間についての、月平均気温の平均、標準偏差および月降水量の平均、標準偏差の資料を基に、月平均気温の平均と標準偏差を説明変数とした、月降水量の平均および標準偏差に関する回帰分析を実施し、得られた回帰式を用いて、3つの気温上昇シナリオに対する期間降水量の平均、標準偏差変化の地域分布と季節変化を示した。1.0℃の気温上昇では年平均降水量の変化は±10%以下であるが期間降水量では、特に、冬期(12-2月)と夏期(8-9月)で10%以上の増減となる地域が現れた。これらの結果については、大過ないものと信じているが、将来、高分解能の気候モデルや気象学的な角度から検証される必要があることは言うまでもない。

参考文献: 1)気象庁編: 温室効果気体の増加に伴う気候変化(Ⅱ), 大蔵省印刷局, 1990. 2)高橋浩一郎監修: 日本気象総覧, 東洋経済新報社, 1983. 3)名倉陽子: 徳島大学工学部建設工学科卒業研究, 1994.

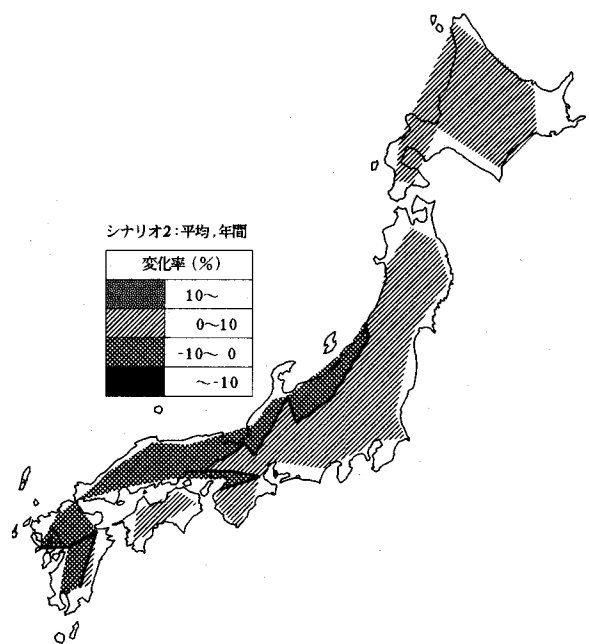


図-1(a) 年平均降水量の変化率分布

図-1(b)

年降水量の標準偏差の変化率

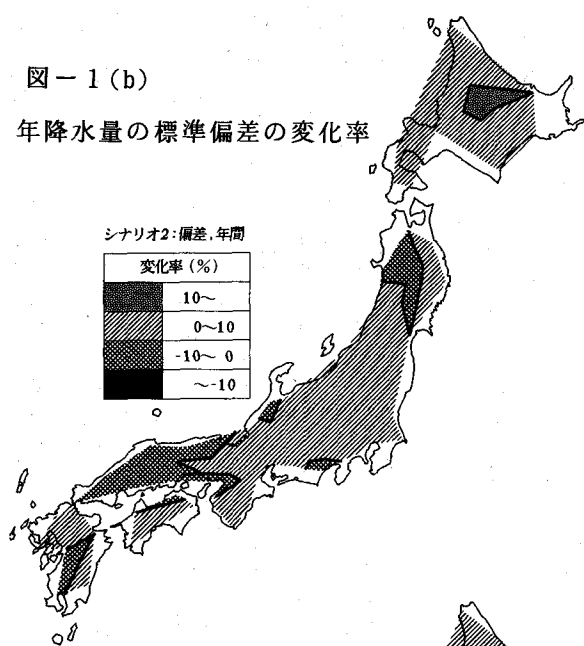


図-2(a)

3-5月の平均降水量の変化率

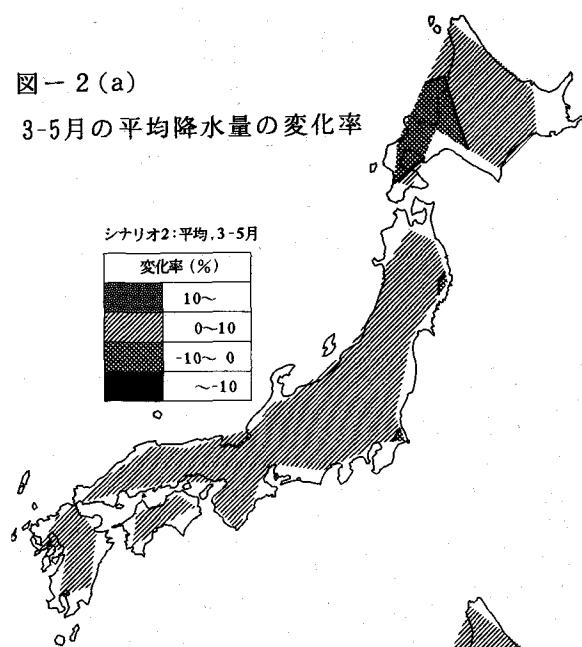


図-2(b)

6-7月の平均降水量の変化率

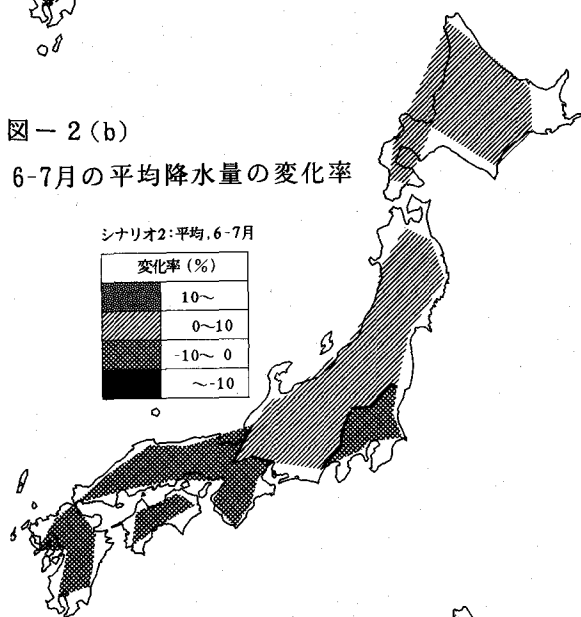


図-2(c)

8-9月の平均降水量の変化率

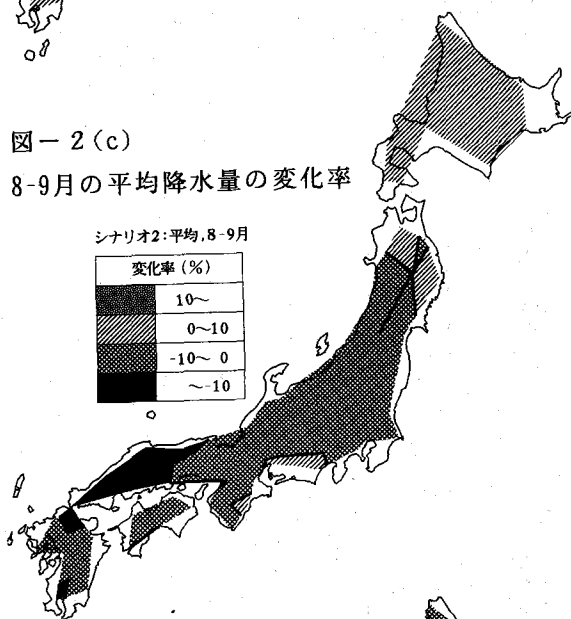


図-2(d)

10-11月の平均降水量の変化率

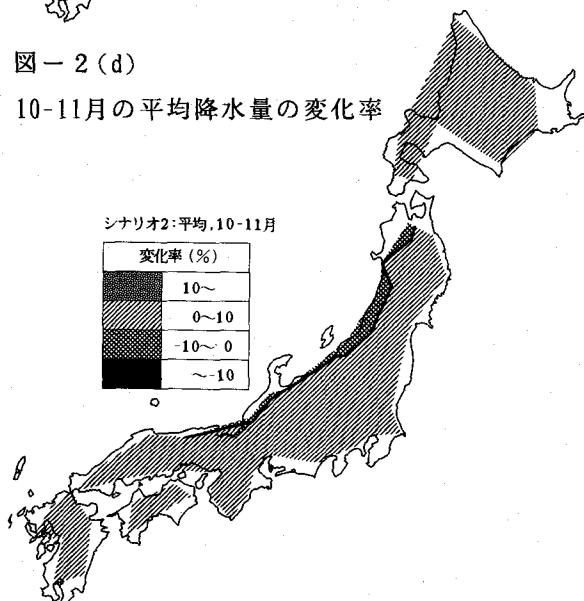
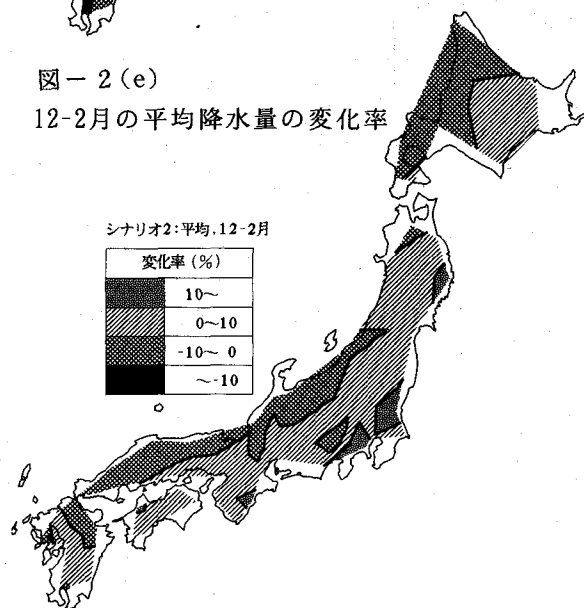


図-2(e)

12-2月の平均降水量の変化率



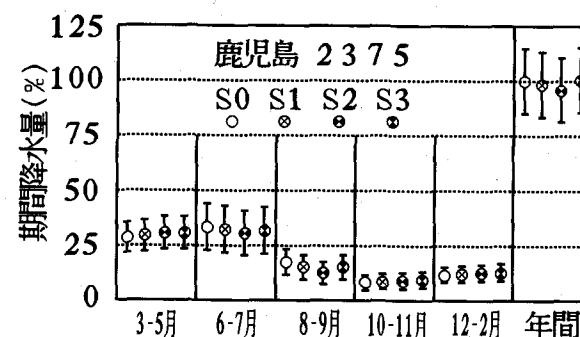
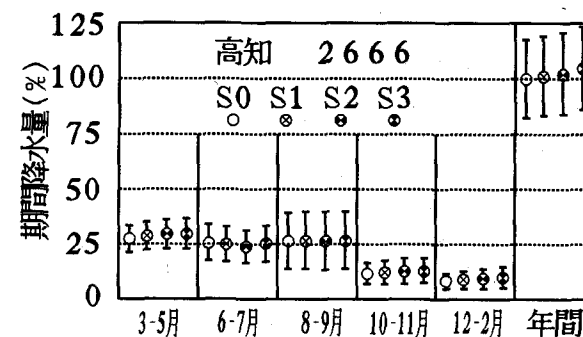
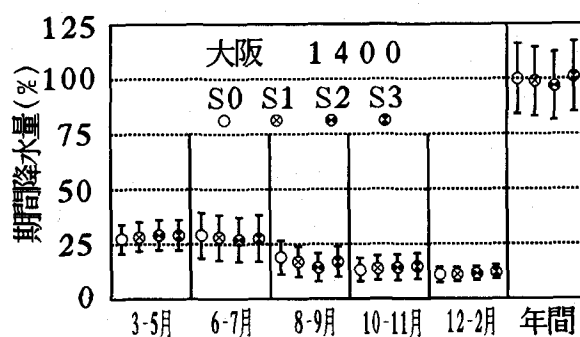
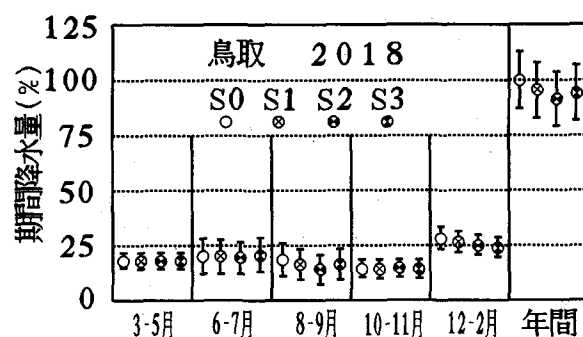
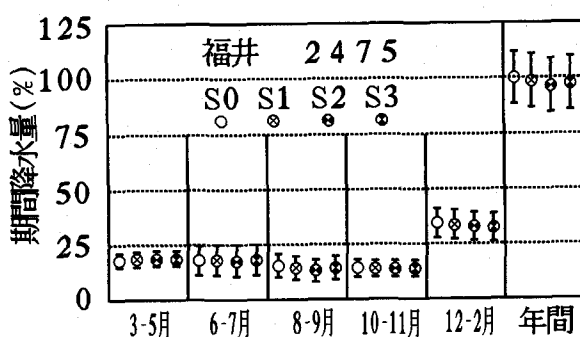
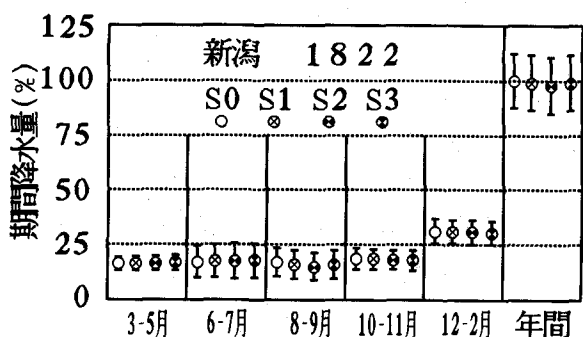
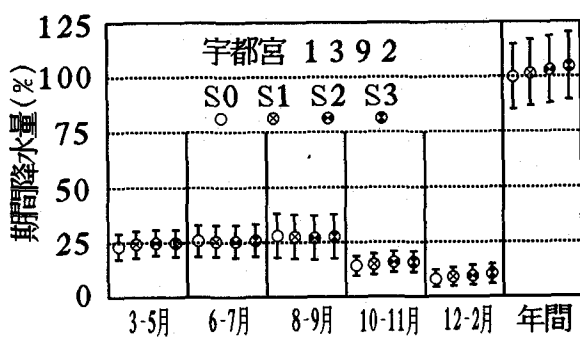
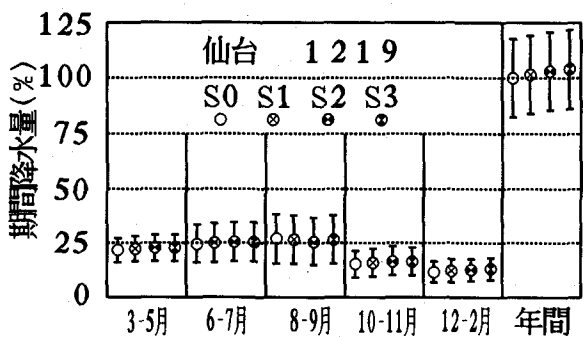
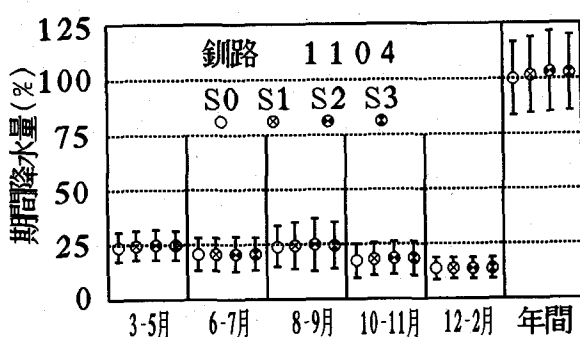
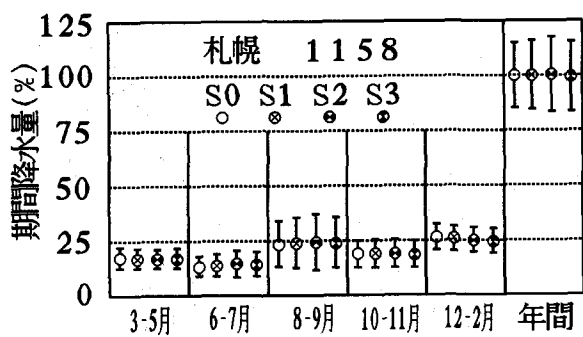


図-3 主な地点の降水量の季節変化