

# 渇水確率降水量の統計解析

紙井 泰典<sup>1</sup>・宮脇 修<sup>2</sup>・近森 邦英<sup>3</sup>

## Statistical Analysis of Precipitation in Drought Period

Yasunori Kamii<sup>1</sup>, Osamu Miyawaki<sup>2</sup> and Kunihide Chikamori<sup>3</sup>

**Abstract:** Yearly and monthly probabilistic precipitations at 53 observatories in Japan are analyzed by cluster analysis. The yearly and monthly data analysed are of the stations which have data for more than 98 years. They are placed in ascending order and converted to probabilistic precipitations by *Weibull plotting position*, i.e., the return period  $T$  is calculated by the formula;  $T = i/(N + 1)$  ( $i$ : order number of the data arranged in ascending magnitude,  $N$ : number of data (years)). Firstly, six different clustering methodologies, namely, nearest neighbor method, furthest neighbor method, group average method, centroid method, median method and Ward method are applied to yearly probabilistic precipitation. Among these six methods, the nearest neighbor method gives a different dendrogram from others and among the rest, the furthest neighbor method seems to give a reasonable result from the point of view of ascending order magnitude of the clusters. By applying this method, it is found that the clustered districts do not coincide with such stereotyped geographical or meteorological districts as Hokkaido, Tohoku, Kanto, Hokuriku, Chubu, Tokai, Kinki, Chugoku, Shikoku, or Sanin, Setouchi, Nankai and Kyushu. Secondly, monthly probabilistic precipitations are analyzed by this method. The characteristics of precipitation, obtained from these cluster analyses, seem to provide useful information for rainfall utilization purposes.

### 1 はじめに

雨水の資源化の観点から降水量を考えると、各地の年間あるいは月間降水量及びその季節毎のパターンを、長期的な渇水確率降水量と結びつけて地域類型として明らかにできれば便利であろう。ここでは、測定年数98年間以上の気象庁の全国53観測点の年間及び1～12月渇水降水量を、トーマス・プロットによりリターン・ピリオド2年、5年、10年、20年、50年について求め、クラスター分析の手法により解析し、各地の年間および月間確率降水量の特徴とグループ性を明らかにすることを試みた。

### 2 リターン・ピリオドの計算

トーマス・プロット (*Weibull plot*) によるリターン・ピリオドは、次式で表される (Chow, 1964)。

$$T = \frac{i}{N + 1} \quad (1)$$

ここに、 $T$ : リターン・ピリオド、 $i$ : 年間または月間雨量を年毎に昇べきの順に並べたときの順位、 $N$ : データ数、各地点ともおよそ98～100個をとった。一部欠測があったが、分析には支障がないと考えてそのまま集計した。各測定地点におけるリターン・ピリオド ( $T$ ) 毎の年間渇水確率降水量を表1に、また各測定地点の位置と高度を表2に示す。表1を見ると、いずれのリターン・ピリオドでも北海道・東北・甲信・瀬戸

内地方は渇水確率年降水量が小さく、九州・南四国・北陸地方は大きい。東北でも青森は降水量が中位であり、秋田は比較的大きい。網走・長野・根室・大阪・鹿児島・伏木・岐阜・巖原・高知・名瀬のように  $T = 2$  年から  $T = 50$  年まで順位がほとんど変動しない地点がある反面、松山・呉・広島・下関・津・石垣・那覇のように  $T$  が長くなると順位が相対的に上昇していく地点、また旭川・広島・青森・彦根・新潟・秋田のように順位が下降していく地点がある。上昇地点は下降地点よりも長期的に大渇水に会う危険性が高いと考えられる。

### 3 クラスタ分析

クラスター分析は、複数の変数値を持つ複数種類のデータから、近い関係にあるもの、遠い関係にあるものを計算し、近いものから順に群 (クラスター) として束ね、分類する統計手法である。ここでは、排他的、外的基準なしの階層的クラスター分析を行った。類似度/非類似度の測度の計算には、ユークリッド平方距離を用いた。分析手法としては、

- (1) 最短距離法 (クラスター間の距離を、各々のクラスター内に含まれる測点間の最短距離にとる)。
- (2) 最長距離法 (クラスター間の距離を、各々のクラスター内に含まれる測点間の最長距離にとる)。
- (3) 群平均法 (クラスターの座標を、そのクラスターに含まれる測点位置の平均値とする)。
- (4) 重心法 (クラスターの座標を、元のクラスターの重心位置にとる)。
- (5) メジアン法 (クラスターの座標を、元のクラスターの中点にとる)。
- (6) ウォード法 (クラスターを作るとき、クラスター内の各測点の偏差平方和を最小とするようにする)。

を用いた (田中ら, 1984)。

<sup>1</sup>高知大学農学部助教授, Associate Professor, Faculty of Agriculture, Kochi University, Otsu 200, Monobe, Nankoku-shi, Kochi-ken, 783-8502, Japan

<sup>2</sup>高知市役所, Officer, Kochi Municipal Office, 5-1-45, Honmachi, Kochi-shi, 780-0870, Japan

<sup>3</sup>高知大学名誉教授, Professor Emeritus of Kochi University, Rm.1103, Surpas Daini Asahimachi, 2-22-57, Asahimachi, Kochi-shi, 780-0935, Japan

表1: 各測定地点のリターン・ピリオド毎の渇水確率年降水量 (mm/年)

地点名	T=2	地点名	T=5	地点名	T=10	地点名	T=20	地点名	T=50
網走	842.1	網走	699.3	網走	643.3	網走	615.6	長野	557.7
長野	979.1	長野	848.1	根室	747.8	根室	711.9	網走	578.1
根室	1005.0	根室	856.5	長野	803.5	長野	723.7	根室	654.7
石巻	1091.5	石巻	925.2	甲府	845.0	甲府	795.5	岡山	691.8
札幌	1094.5	旭川	969.4	岡山	851.6	福島	798.9	多度津	700.3
旭川	1102.9	札幌	973.3	石巻	855.4	石巻	809.8	福島	700.7
多度津	1122.5	福島	991.0	多度津	860.2	岡山	813.3	甲府	725.0
岡山	1138.7	甲府	996.5	札幌	891.2	多度津	818.2	札幌	727.3
甲府	1142.1	多度津	996.8	福島	893.8	札幌	855.9	石巻	747.8
函館	1152.0	岡山	1011.3	旭川	899.3	旭川	864.3	松山	760.2
福島	1164.0	函館	1015.1	宮古	932.1	前橋	879.5	神戸	783.8
山形	1205.9	山形	1045.2	前橋	950.4	宮古	882.1	広島	785.8
寿都	1226.0	前橋	1051.5	山形	957.1	山形	927.4	呉	786.6
前橋	1231.5	寿都	1086.0	函館	957.5	神戸	934.9	旭川	793.6
神戸	1315.5	宮古	1087.6	寿都	1017.6	寿都	942.8	山形	810.6
宮古	1325.8	神戸	1122.0	神戸	1046.8	函館	944.7	前橋	816.5
大阪	1328.8	大阪	1135.7	和歌山	1050.0	大阪	949.6	大阪	818.7
松山	1333.9	松山	1139.6	大阪	1056.3	和歌山	974.7	宮古	823.7
青森	1337.0	和歌山	1193.5	松山	1066.3	松山	996.9	寿都	825.1
水戸	1397.7	青森	1212.5	呉	1132.5	呉	1020.5	函館	884.0
呉	1406.3	呉	1235.5	東京	1141.1	東京	1040.4	水戸	893.9
和歌山	1442.6	水戸	1236.5	徳島	1151.2	徳島	1048.3	和歌山	894.1
宇都宮	1500.6	宇都宮	1308.8	水戸	1156.4	広島	1075.4	徳島	966.9
広島	1535.6	東京	1310.9	青森	1156.9	水戸	1093.0	下関	972.4
東京	1546.8	広島	1313.0	宇都宮	1187.4	青森	1094.5	京都	983.9
京都	1573.6	大分	1324.7	名古屋	1229.3	名古屋	1106.1	宇都宮	989.5
名古屋	1601.9	徳島	1337.2	広島	1235.5	銚子	1127.3	福岡	1002.6
福岡	1604.9	名古屋	1339.7	大分	1239.7	宇都宮	1134.1	青森	1010.4
徳島	1624.9	京都	1341.8	京都	1266.3	横浜	1141.1	東京	1011.5
大分	1631.9	福岡	1364.4	横浜	1279.4	大分	1148.4	大分	1041.0
彦根	1642.2	彦根	1434.2	福岡	1286.7	京都	1148.5	津	1047.1
下関	1643.2	横浜	1435.5	銚子	1303.2	下関	1172.2	横浜	1063.0
浜田	1645.8	浜田	1455.1	津	1326.0	津	1181.8	銚子	1065.7
銚子	1680.7	津	1458.0	浜田	1349.9	福岡	1184.7	佐賀	1067.6
横浜	1695.4	下関	1464.8	下関	1357.4	彦根	1242.0	那覇	1070.8
秋田	1744.8	銚子	1482.7	彦根	1375.7	熊本	1284.6	名古屋	1090.9
津	1745.8	佐賀	1544.1	熊本	1401.2	浜田	1304.7	浜田	1126.6
新潟	1820.3	熊本	1561.2	佐賀	1446.5	佐賀	1331.8	熊本	1129.6
佐賀	1830.9	秋田	1569.5	浜松	1450.0	岐阜	1344.7	彦根	1138.2
熊本	1851.5	新潟	1573.4	長崎	1468.3	浜松	1346.0	石垣	1193.0
岐阜	1931.7	長崎	1621.0	岐阜	1492.4	長崎	1360.5	浜松	1200.2
浜松	1940.5	岐阜	1632.0	秋田	1497.2	石垣	1381.0	岐阜	1227.1
長崎	1945.1	浜松	1671.3	新潟	1504.6	那覇	1397.3	長崎	1243.4
境	1949.0	那覇	1695.4	那覇	1520.6	秋田	1428.6	境	1306.3
那覇	2107.9	境	1773.2	石垣	1543.9	新潟	1465.2	秋田	1328.8
石垣	2121.7	石垣	1774.5	巖原	1617.6	巖原	1497.2	巖原	1411.6
巖原	2152.3	巖原	1837.6	境	1677.0	境	1584.6	新潟	1430.4
鹿児島	2229.5	鹿児島	1873.2	鹿児島	1721.1	鹿児島	1604.3	鹿児島	1519.9
伏木	2240.2	伏木	1993.6	伏木	1860.3	伏木	1792.0	宮崎	1623.5
金沢	2547.9	宮崎	2045.6	宮崎	1910.4	宮崎	1822.1	伏木	1683.3
高知	2587.5	高知	2203.0	高知	2037.7	高知	1911.5	高知	1800.0
宮崎	2592.5	金沢	2254.8	金沢	2143.5	金沢	2029.5	名瀬	1834.0
名瀬	3078.0	名瀬	2559.0	名瀬	2257.5	名瀬	2061.3	金沢	1866.7

#### 4 解析結果

リターン・ピリオド2年, 5年, 10年, 20年, 50年の  
 渇水確率年降水量についてクラスター分析した結果の  
 デンドログラム(樹形図)を図1(a),(b),(c),(d),(e),(f)  
 に示す。樹形図の枝の長さはほぼクラスター間の距離  
 の長短を表わしているが、低位のクラスターについて  
 は、見やすさを重視して画一的長さによって作図して  
 いる。

図1(a)(最短距離法)は、他の5手法(図1(b)-(f))の  
 樹形図とは異なる形となっている。これはクラスター  
 内の最短距離のもの同士が一緒になって次の段階のク  
 ラスターを構成するため、このようにクラスターを  
 次々と連結していく形となると考えられる。

類似度の高いのは岡山=多度津, 岐阜=長崎, 山  
 形=前橋, 神戸=大阪, 京都=福岡, 銚子=横浜など  
 である。岡山=多度津, 神戸=大阪のように地理的に  
 近接しているものもあるが、岐阜=長崎, 京都=福岡  
 のように地理的には遠くても類似度の高い地点もある。  
 確率年降水量によってクラスター分けをしているから、  
 類似度の高い地点同士は年降水量もそう違わない。旭  
 川が先頭であるが、これは旭川が他の地点と比べて特  
 に隔たった年降水量を示すということではなく、使用  
 したデータの最初が旭川であったためである。

図1(a)の樹形図の地点順は、大まかに言って表1  
 のそれと大差がない。表1と同様、図1(a)において  
 も、上位よりは下位の地点の方が年降水量が多いと考  
 えられる。図1(a)を上から順に見ていくと、彦根く  
 らいまでは比較的近距离(低位)でクラスターが構成  
 されているが、図の下の方に位置する地点は、枝が長  
 く、他との類似度が低い。つまり、下に出てくる  
 西南日本や北陸などの地域は、他の地域とはかけ離れた  
 (大きな)降水量を持っている地点であると考えられ  
 る。ただし、網走については雨量が小さいにもかかわらず  
 (表1)、伏木その他の雨量の大きい地域の近くに  
 置かれている不自然さが認められる。最短距離法では、  
 クラスター統合の際、2番目に近いものなどは無視さ  
 れるため、このような不合理も起こると考えられる。

図1(b)(最長距離法)は、配置順が(a)よりもっと表  
 1と似ている。網走, 根室, 長野のグループが下の方  
 に位置しているほかはほぼ確率降水量の大小によって  
 分けられており、最短距離法よりも合理的と考えられ  
 る。樹形図を分類上位の方から見ていくと、全国は金  
 沢・高知・伏木・宮崎・名瀬の西南海・南北陸ブロック  
 とその他ブロックとに大別され、その他ブロックは北  
 海道・東東北・東南瀬戸内・西北近畿・上甲信プロッ  
 クと西東北・関東・近畿・西瀬戸内・東南海・北北陸・  
 山陰・東海・九州ブロックに分けられる。これらは必  
 ずしも北海道・東北・関東・北陸・東海・中部・近畿・  
 中国・四国・あるいは山陰・瀬戸内・南海・九州といっ  
 た地理的・気候的区分とは一致していない。

図1(c)は群平均法の樹形図である。細部の違いは  
 あるが、図1(b)に酷似している。図1(d)は重心法の  
 樹形図である。降水量の大きい地点で一つの大きなク  
 ラスターを形成しているのが特徴である。

図1(e)はメジアン法の樹形図である。広島の種類  
 が図1(b)(最長距離法)と違う。またクラスター分割の  
 順序が、図1(b)では中雨地域とやや多雨地域とをク  
 ラスターとした後、少雨地域をクラスターしてから多

雨地域と結んでいるが、図1(e)は中雨地域～やや多  
 雨地域～多雨地域とクラスターしてから少雨地域と結  
 んでいる。つまり(b)では多雨地域を独立性の高いグ  
 ループとみているのであるが、(e)では少雨グループ  
 を独立性の高いグループとみていることになる。

図1(f)(ウオード法)は図1(b)と似ている。(b)との  
 違いはやや多雨地域を中雨地域と一緒にまとめている  
 点であろう。このようにして6種類の樹形図を作った  
 が、図1(a)以外はかなり似ており、いくつも作る必要  
 はないと考えて、次の1~12月降水量のクラスター分  
 析では、考え方として単純で、割合に降雨量の多寡と  
 の対比の明瞭な最長距離法を用いることとした。

表2: 各測定地点の位置と高度

番号	地点名	北緯		東経		高度 (m)
		(度)	(分)	(度)	(分)	
407	旭川	43	46.2	142	22.4	112
409	網走	44	1.0	144	17.0	37.6
412	札幌	43	3.4	141	19.9	17.2
420	根室	43	19.7	145	35.4	25.2
421	寿都	42	47.5	140	13.6	33.4
430	函館	41	48.8	140	45.4	35.0
575	青森	40	49.1	140	46.3	2.7
582	秋田	39	42.9	140	6.2	6.3
585	宮古	39	38.7	141	58.1	42.5
588	山形	38	15.2	140	20.9	153
592	石巻	38	25.5	141	18.2	42.5
595	福島	37	45.4	140	28.5	67.4
604	新潟	37	54.6	139	3.1	1.9
605	金沢	36	35.2	136	38.3	5.7
606	伏木	36	47.3	137	3.4	11.6
610	長野	36	39.6	138	11.7	418
615	宇都宮	36	32.8	139	52.3	119
624	前橋	36	24.1	139	3.9	112
629	水戸	36	23.0	140	28.0	29.3
632	岐阜	35	23.8	136	45.9	12.7
636	名古屋	35	9.9	136	58.1	51.1
638	甲府	35	39.8	138	33.4	273
648	銚子	35	44.2	140	51.6	20.1
651	津	34	43.8	136	31.4	2.6
654	浜松	34	42.4	137	43.4	31.7
662	東京	35	41.0	139	46.0	5.3
670	横浜	35	26.2	139	39.4	39.1
742	境	35	32.5	133	14.2	2.0
755	浜田	34	54.0	132	4.0	19.0
759	京都	35	1.0	135	44.0	41.4
761	彦根	35	16.4	136	14.8	87.3
762	下関	33	56.7	130	55.7	3.3
765	広島	34	24.0	132	28.0	3.6
766	呉	34	14.0	132	33.0	3.5
768	岡山	34	39.4	133	55.1	2.8
770	神戸	34	41.3	135	10.8	57.5
772	大阪	34	40.7	135	31.3	23.1
777	和歌山	34	13.6	135	10.0	13.9
800	釧路	34	11.7	129	17.6	3.7
807	福岡	33	34.8	130	22.6	2.5
813	佐賀	33	15.8	130	18.4	3.8
815	大分	33	13.9	131	37.2	4.6
831	長崎	32	43.9	129	52.2	26.9
819	熊本	32	48.6	130	42.6	37.7
827	鹿児島	31	33.1	130	33.1	4.2
830	宮崎	31	55.2	131	25.4	6.3
887	松山	33	50.4	132	46.8	32.2
890	多度津	34	16.4	133	45.3	3.7
893	高知	33	33.9	133	33.1	1.9
895	徳島	34	3.9	134	34.6	1.6
909	名瀬	28	22.6	129	29.9	2.8
918	石垣島	24	19.9	124	9.8	5.7
936	那覇	26	12.2	127	41.3	28.0

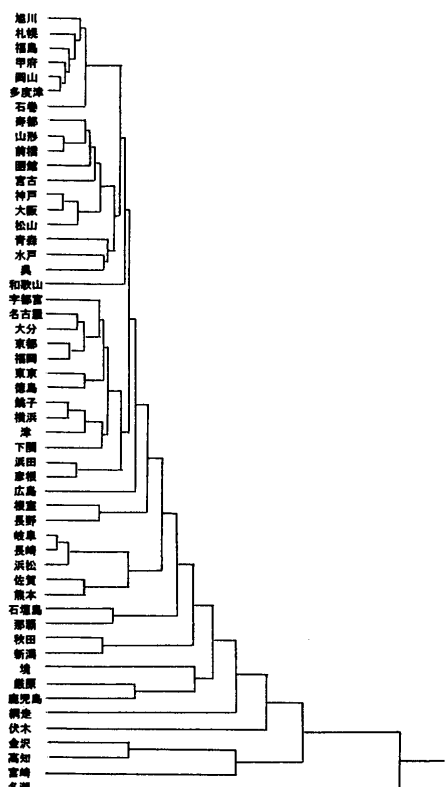


図1(a): 最短距離法による渇水年降水量のデンドログラム

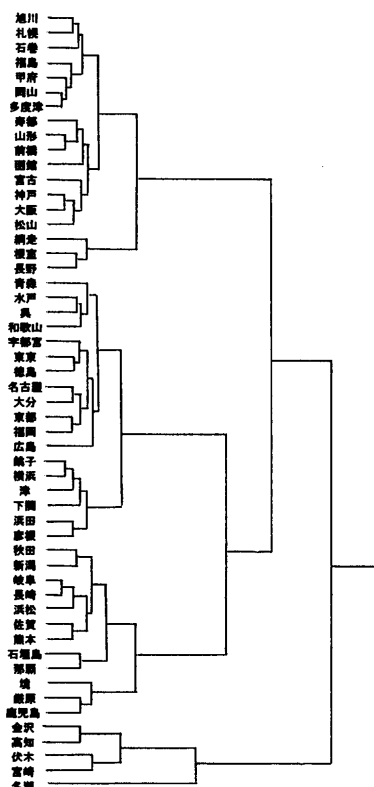


図1(b): 最長距離法による渇水年降水量のデンドログラム

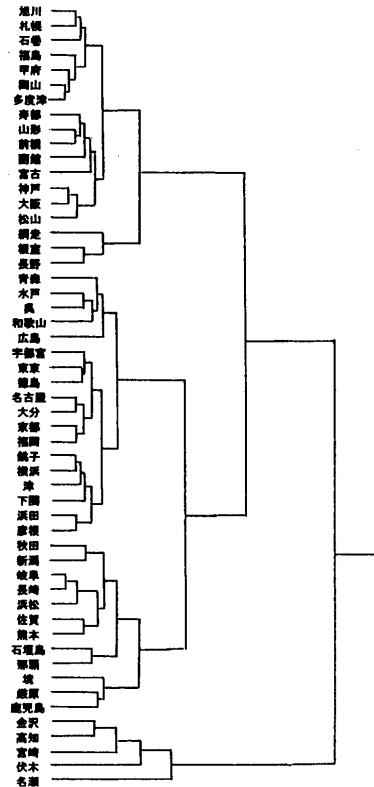


図1(c): 群平均法による渇水年降水量のデンドログラム

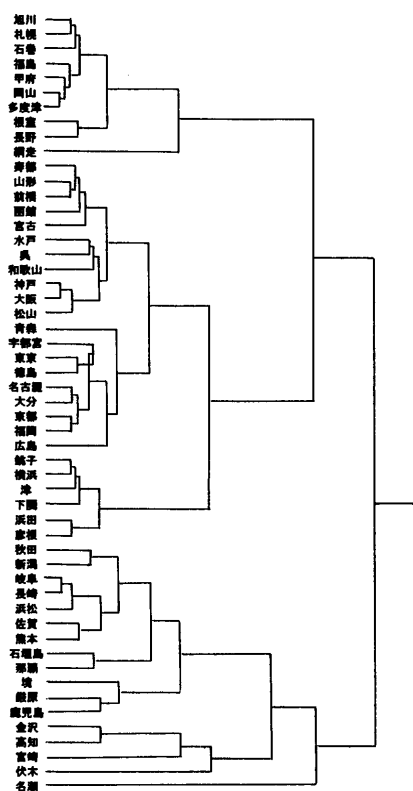


図1(d): 重心法による渇水年降水量のデンドログラム

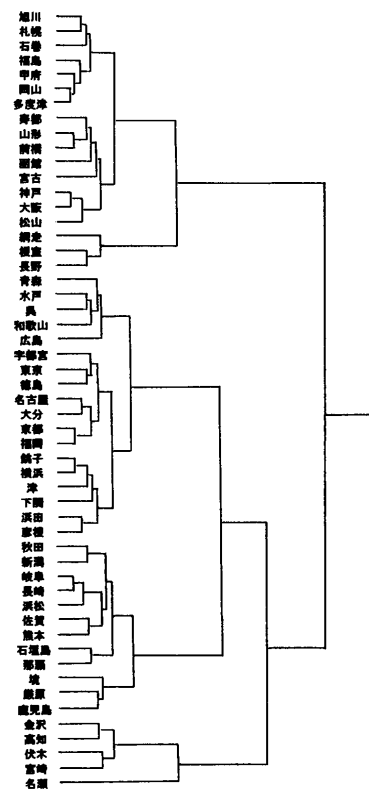


図1(e): メジアン法による渇水年降水量のデンドログラム

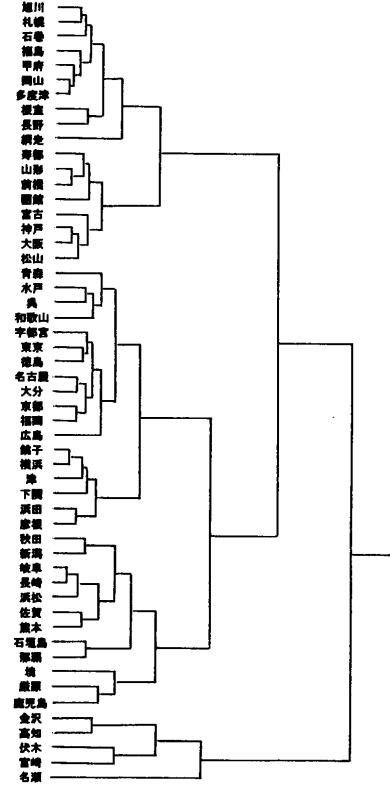


図1(f): ウォード法による渇水年降水量のデンドログラム

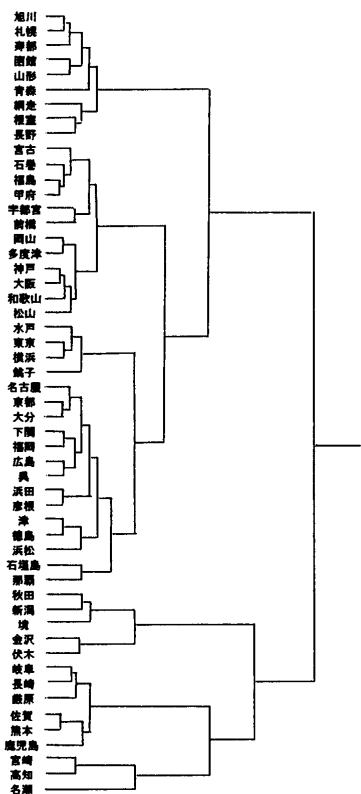


図 2(a):  $T = 2$  年の 1~12 月のデンドログラム

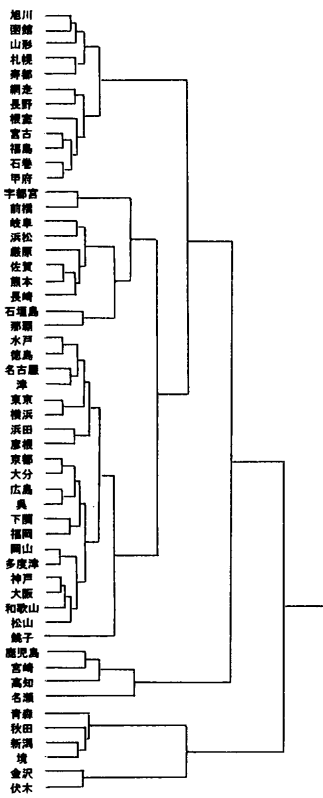


図 2(b):  $T = 5$  年の 1~12 月のデンドログラム

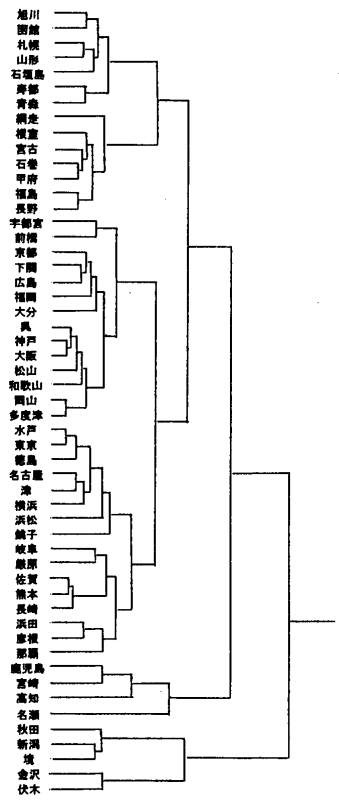


図 2(c):  $T = 10$  年の 1~12 月のデンドログラム

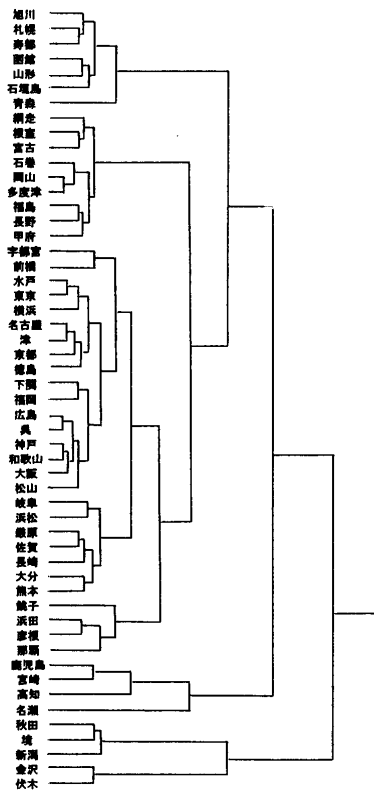


図 2(d):  $T = 20$  年の 1~12 月のデンドログラム

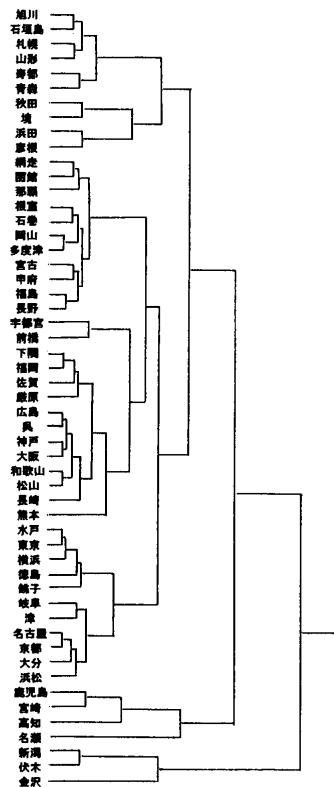


図 2(e):  $T = 50$  年の 1~12 月のデンドログラム

図2(a),(b),(c),(d),(e)に、リターン・ピリオド2年、5年、10年、20年、50年確率の月間降水量の最長距離法による樹形図を示す。図2(a)( $T=2$ 年)の樹形図を高位の方から見ていくと、全国は旭川から那覇までのブロックと、秋田から名瀬までのブロックとに分けられる。後者は北陸、九州、南海地域を主としているが、秋田・岐阜を含み、また秋田、新潟、境、金沢、伏木の裏日本グループの独立性が高い。前者は北海道・青森・山形・長野の第一グループ、東南東北・北関東・東南瀬戸内・西近畿の第二グループ、東南関東の第三グループ、東海・東近畿・西北瀬戸内・北九州と浜田・沖縄の第四グループからなる。この中で旭川から長野までのグループは $T=2$ 年確率降水量が800~1200mm、年間の降雨変動が少なく、夏季にやや降水量が多く、2~5月にやや少雨となる地域である。宮古から松山までのグループは年確率降水量1000~1400mm、6~10月に確率降水量が100mmを越え、12, 1, 2月の降水量が少ない。

水戸から那覇までのグループは、年確率降水量1500~2200mmで、4~10月特に6~9月に確率降水量が多い。秋田から伏木までのグループは、年確率降水量が1700~2200mmで、年間とおして降水量が多く、特に7, 9, 12, 1月の降水量が多い。岐阜から鹿児島までのグループは年確率降水量が1800~2200mm、3~9月、特に6~7月の確率降水量が月200mmにも達する。宮崎・高知・名瀬は年確率降水量が2500~3100mmで、特に4~9月は月間降水量が200mmを越えるのが特徴である。

図2(e)( $T=50$ 年)を見ると、旭川から名瀬までのブロックと、新潟、伏木、金沢のブロックとに大別される。後者は北陸であり、 $T=50$ 年降水量が1400~1800mmで、冬季の降水量が月100mmを越える地域である。前者の中では鹿児島、宮崎、高知、名瀬の南海

ブロックは年間確率降水量が1500~1800mmで、冬季よりも夏季に降水量が多い。旭川、石垣島、札幌、山形、寿都、青森、秋田、境、浜田、彦根の道央・西東北・山陰・石垣島・彦根のグループは、年間確率降水量が800~1300mmで、夏季から10月にかけて降水量が少ないのが特徴である。宇都宮から熊本までのグループはいずれも冬季と8月に渇水となる傾向がある。水戸から浜松までのグループは年確率降水量が800~1200mmで、冬季と7, 8月に雨量が少なく、9, 10月に多いのが特徴である。

## 5 おわりに

渇水確率年・月降雨量について、全国53地点をクラスター分類した結果、以下のことがわかった。

- (1) 分類法別では最短距離法だけが特異な樹形図を示すが、他の5方法は比較的類似していた。
- (2) 渇水確率年雨量は、最長距離法によっておおむね降水量の大小による地域分類が可能である。
- (3) 最長距離法による渇水確率年降水量の分類では、地理的・気候的区分と合致するものとしなないものがあった。
- (4) 月確率降水量を用いてクラスター分析をした結果、月毎に降水量の多い地点、少ない地点をグループ化することができた。

これらのことからクラスター分析により全国の地域を、雨水資源の賦存量や長短期の年間変動の地域的特徴によって分類できることがわかった。

## 引用文献

- [1] 田中 豊・垂水共之・脇本和昌(1984):パソコン統計解析ハンドブックⅡ多変量解析編, 共立出版, pp.226-251.
- [2] Chow, V. T. (1964): *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw-Hill, pp.8-29.