

## 気象原因別に分離した月・季節・年降水量の 経年変化の検討

寒川典昭\*・福澤直樹\*\*・肥田信彦\*\*\*

(平成10年5月15日受理)

### Investigation of Secular Change of Monthly, Seasonal and Annual Precipitation Separated by Weather Factors

Noriaki SOGAWA\*, Naoki FUKUZAWA\*\*  
and Nobuhiko HIDA\*\*\*

This study investigates the secular change of monthly, seasonal and annual precipitation by each weather factor in Nagano city. The weather factors are cyclone, trough, front, typhoon, winter monsoon type pressure pattern, the instability of atmosphere and the other factor. The method of analysis is as follows. First, a period was analyzed in a original time series. Next, the period component was removed from the original time series, and a residual time series was made. Besides, a regression analysis was put in operation in the residual time series. Finally, a synthesis time series was made by combining the period component with the regression line, where the significant period component and the significant regression line were used only. The synthesis time series were obtained 3 sections in cyclone, 2 sections in front, 3 sections in winter monsoon type pressure pattern, and 10 sections in the other factor. The secular change of precipitation, which reached the synthesis time series, increased or decreased repeating periodic variation regularly or irregularly.

#### 1. は じ め に

将来の水資源計画を策定するためには、水文量の時系列特性を把握することが重要である。この時系列には、一般に周期成分と傾向成分が存在する。

水文量の周期成分についての研究では、長尾<sup>1)</sup>が琵琶湖への流入量に57年周期が存在することを示したものの、及び角屋・小池<sup>2)</sup>が日本の19地点の年降水量と年最大日降水量の周期特性を調べたもの等が残されている。水文量の傾向成分についての研究では、以下のもの等がある。寒川・中村・山田<sup>3),4),5)</sup>は長野県の降水観測所における、月、年、年最大1・2・3日降水量時系列に傾向成分が存在することを述べている。寒川・砂長谷<sup>6)</sup>はやはり長野県の降水観測所における1・5・10・20年単位の降水量時系列に傾向成分が見られることを提示している。Webb<sup>7)</sup>は south-central Utah の Escalante River において、

\* 社会開発工学科助教授

\*\* (株)フクザワコーポレーション

\*\*\* 日本上下水道設計(株)

Knox<sup>8)</sup>は south-western Wisconsin の Upper Mississippi Valley において、寒川・山下・南<sup>9)</sup>は長野県の千曲川において、復元した歴史洪水を観測されている洪水の時系列と結合させると、結合させた時系列にはそこにも傾向成分が存在することを示している。従って、上述の研究から水文量の時系列は、原則的には周期成分と傾向成分の両成分で記述することが必要である。また、水資源計画を考える場合、気象原因別の降水の時系列特性を検討しておくことが重要である。

そこで、著者等<sup>10)</sup>は、長野県内に存在する5つの気象官署である長野、松本、飯田、諏訪、軽井沢の平均の気象原因別降水量の経年変化を検討しているが、ここでは平均化されているため、個々の観測所の気象原因別降水量の経年変化については明らかにされていない。従って、本稿では長野気象官署の日降水量を気象原因別に分離し、そうして得られた気象原因別の日降水量から、月、季節、年降水量を計算し、それらの降水量を周期成分と傾向成分で記述したので、以下に得られた成果について報告する。尚、このような降水量時系列を用いると、月、季節、年毎に気象原因別の将来の降水量を予測することができ、長野市の水資源計画にきめ細かい極めて重要な情報を提供することができるとともに、同様な手法を他の地点にも適用可能となる。

## 2. 降水の気象原因別分類

用いた基礎データは、長野県気象月報<sup>11)</sup>に保存されている1951年から1993年までの43年間の長野気象官署の日降水量である。データの最終年を1993年としたのは、本研究は1994年度から取り掛かっているためである。さて、降水の気象原因による分類であるが、まず対象とした日降水を、長野県気象月報の冒頭部に書かれている気象概況を用いて、62種類に細分した。しかし、この気象原因数では、その数が多過ぎるため、個々の原因に属する降水の頻度が少なくなり過ぎて、気象原因別降水量の経年変化を検討することが困難である。そこで、同種と類推される原因をひとまとめにして、7種類の気象原因別降水量を算定した。その気象原因別降水量は次の通りである。①低気圧による降水、②気圧の谷による降水、③前線による降水、④台風による降水、⑤冬型の気圧配置による降水、⑥大気的不安定による降水、⑦その他の原因による降水。また、本研究は水資源計画をその主目的としているため、用いるデータの単位は月、季節、年とした。季節の取り方としては、冬季を前年の12月、当該年の1、2月、春季を当該年の3、4、5月、夏季を当該年の6、7、8月、秋季を当該年の9、10、11月とした。従って、冬季の場合は1年分データが少ないことになる。

## 3. 経年変化の検討方法

ここでは、まず、月、季節、年降水量の原時系列を対象として、周期成分を抽出した。次に原時系列から周期成分を除去した残差時系列を作成し、それを直線回帰した。最後に、原時系列の周期成分と残差時系列の回帰直線を組み合わせて合成時系列を作成した。ここで、合成するときには、原時系列の周期成分及び残差時系列の回帰直線は有意なもののみ用いている。

### 3.1 周期成分の抽出

有意な周期の候補を抽出するために、コレログラム解析法<sup>12)</sup>とピリオドグラム解析法<sup>13)</sup>を用いた。両者の違いは、前者は時間軸上で、後者は周波数軸上で議論しているところにある。コレログラム解析法では、コレログラムのグラフにおいて遅れ時間がデータの始めから1/3以内、系列相関係数が0.2以上、-0.2以下を有意な周期の候補の対象とした。ここで遅れ時間がデータの始めから1/3以内としたのは、遅れ時間が大きくなると系列相関係数の精度が落ちるからである。ピリオドグラム解析法では、ピリオドグラムのグラフにおいて極大点を有意な周期の候補の対象とした。このようにして得られた有意な周期の候補は有意水準5%で有意検定<sup>14)</sup>にかけられ、有意な周期を確定した。時間 $t$ の時系列 $x(t)$ が $k$ 個の有意な周期 $T_j(j=1,2,\dots,k)$ を持つとき、次のように表される。

$$x(t) = a_0 + a_1 \cos \lambda_1 t + b_1 \sin \lambda_1 t + \dots + a_k \cos \lambda_k t + b_k \sin \lambda_k t \quad (1)$$

ここに、 $\lambda_j = 2\pi/T_j (j=1,2,\dots,k)$ である。 $a_0, a_1, b_1, \dots, a_k, b_k$ は、原時系列と周期成分との誤差が最小となるように決定する<sup>15)</sup>。

### 3.2 残差時系列の作成とその回帰直線

3.1で有意な周期成分が求まるので、まず、原時系列からその成分を差し引いた残差時系列を作成した。次に、残差時系列を直線で回帰した。最後に回帰性の検定を有意水準5%で実施し、有意な回帰直線を選定した。時間 $t$ の回帰直線 $x(t)'$ は次式で表される。

$$x(t)' = \alpha + \beta t \quad (2)$$

ここに、 $\alpha, \beta$ は係数である。

### 3.3 原時系列の周期成分と残差時系列の回帰直線との合成

ここでは、(1)式で得られた有意な原時系列の周期成分と(2)式で得られた有意な残差時系列の回帰直線とを加え合わせ、両者の合成時系列を作成した。この合成時系列で原時系列が表現されたものと考えた。ここで、有意な原時系列の周期成分があり、有意な残差時系列の回帰直線がない場合は、原時系列は有意な原時系列の周期成分のみで表現されたものと見なした。両者ともない場合は、原時系列を始めから回帰分析し、有意な回帰直線が得られた場合は、原時系列はその回帰直線で表現されたものと見なした<sup>16)</sup>。ただし、このことについてはすでに発表しているので、本研究では触れないことにする。尚、原時系列の有意な周期成分、及び原時系列の有意な始めからの回帰直線が共に得られない場合は、原時系列は周期成分及び傾向成分を共に持たないランダムな変動であると考えた。

## 4. 実データへの適用と考察

### 4.1 低気圧による降水

Table 1に有意な周期成分と有意な回帰係数を示す。周期分析における有意な周期成分は、1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12月, 春, 秋, 冬で得られている。単周期の区分は規則的な周期変動を繰り返し、複周期の部分は不規則な周期変動を繰り返している。また、3, 4, 5月, 春では21, 22年という似た周期が得られた。残差時系列における有意な回帰直線は、8, 11月, 秋で見られる。従って、合成時系列は残差時系列で有意な回帰直線が得られた区分で求まっている。8月, 11月, 秋は、周期が16年, 14年, 17年, 残

Table 1 The significant period and the significant regression coefficient (cyclone)

Section	Period (year)	Regression coefficient (mm/year)
January	39	
February	10, 11, 22	
March	21	
April	22	
May	21	
July	15	
August	16	0.608
September	11, 12	
November	14	0.380
December	12, 37	
Winter	21	
Spring	22	
Autumn	17	1.002

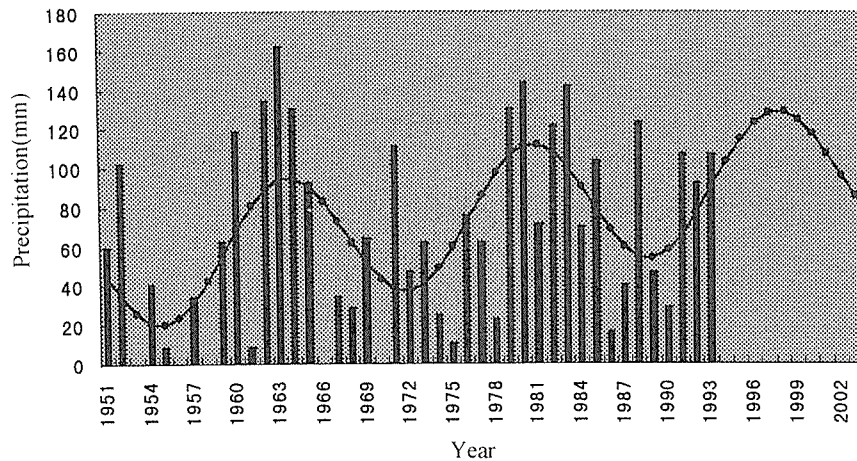


Fig. 1 The synthesis time series (cyclone, autumn)

差時系列の回帰係数が0.608mm/年, 0.380mm/年, 1.002mm/年であるため, 合成時系列は規則的な周期変動を繰り返しながら上昇している. Fig. 1に低気圧による降水の合成時系列の1例として秋の場合を掲載している.

#### 4.2 気圧の谷による降水

Table 2に有意な周期成分を示す. 周期分析における有意な周期成分は, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12月, 春, 夏, 秋, 冬, 年で得られている. 単周期の区分は規則的な周期変動を繰り返し, 複周期の区分は不規則な周期変動を繰り返している. また, 全体的に11, 12, 13年という周期が多く得られた. ここでは, 残差時系列における有意な回帰係数は見られない. 従って, 合成時系列は求まっていない. Fig. 2に気圧の谷による降水の周期成分の1例として年の場合を掲載している.

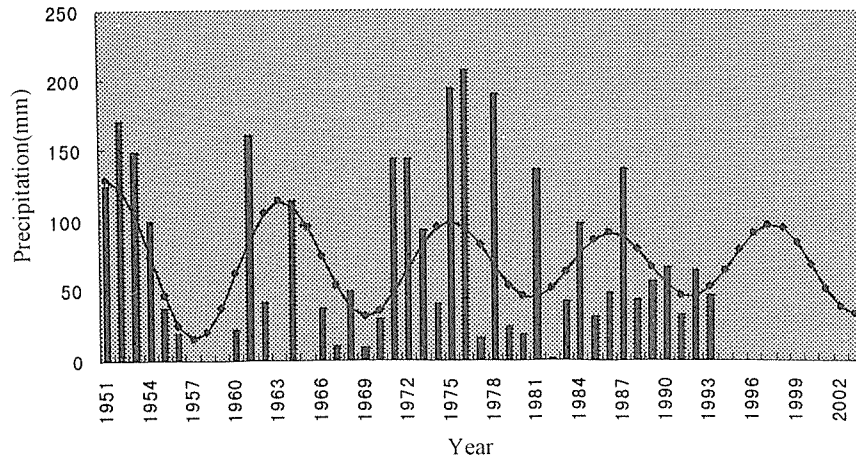


Fig. 2 The periodic time series (trough, year)

Table 2 The significant period (trough)

Section	Period (year)
March	16
April	11, 12
May	16
September	12, 13
October	12, 13, 14
November	11
December	11, 12
Winter	13
Spring	9, 16
Summer	13
Autumn	11, 12, 13, 14, 30
Year	12, 13

Table 3 The significant period and the significant regression coefficient (front)

Section	Period (year)	Regression coefficient (mm/year)
May	9, 10	-0.596
August	10, 11, 21	
October	11, 12	
Winter	14	
Spring	10, 12	-0.592
Autumn	11, 24	

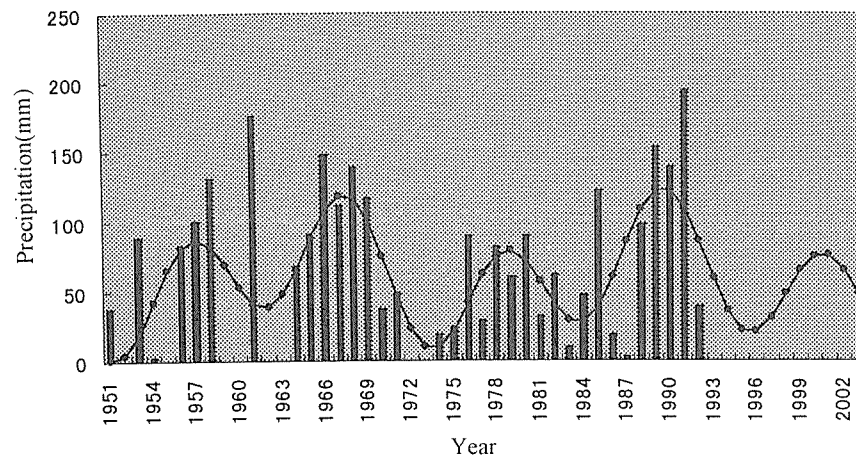


Fig. 3 The periodic time series (front, autumn)

### 4.3 前線による降水

Table 3に有意な周期成分と有意な回帰係数を示す。周期分析における有意な周期成分は、5, 8, 10月, 春, 秋, 冬で得られている。単周期の区分は規則的な周期変動を繰り返し、複周期の区分は不規則な周期変動を繰り返している。また、全体的に10, 11, 12年という周期が多く得られた。残差時系列における有意な回帰係数は、5月, 春で見られる。従って、合成時系列は残差時系列で有意な回帰直線が得られた区分で求まっている。5月, 春は周期が9, 10年, 10, 12年, 残差時系列の回帰係数が $-0.596\text{mm/年}$ ,  $-0.592\text{mm/年}$ であるため、合成時系列は不規則な周期変動を繰り返しながら減少している。Fig. 3に前線による降水の周期成分の1例として秋の場合を掲載している。

### 4.4 台風による降水

Table 4に有意な周期成分を示す。周期分析における有意な周期成分は、8, 9, 10月, 秋, 年で得られている。単周期の区分は規則的な周期変動を繰り返し、複周期の部分は不規則な周期変動を繰り返している。また、特に目立って多い周期は得られなかった。ここでは、残差時系列における有意な回帰係数は見られない。従って、合成時系列は求まっていない。Fig. 4に台風による降水の周期成分の1例として秋の場合を掲載している。

Table 4 The significant period (typhoon)

Section	Period (year)
August	11
September	13, 14, 29
October	19
Autumn	13
Year	26

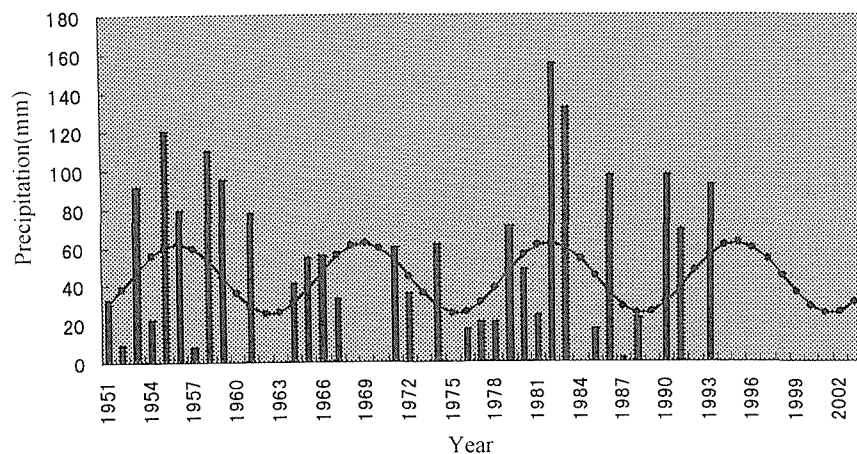


Fig. 4 The periodic time series (typhoon, autumn)

### 4.5 冬型の気圧配置による降水

Table 5に有意な周期成分と有意な回帰係数を示す。周期分析における有意な周期成分は、1, 2, 3, 10, 11, 12月, 春, 秋, 冬, 年で得られている。単周期の区分は規則的な周期変動を繰り返し、複周期の部分は不規則な周期変動を繰り返している。また、全体的に11, 19年前後の周期が多く得られた。残差時系列における有意な回帰直線は、1, 11月, 秋で見られる。従って、合成時系列は残差時系列で有意な回帰直線が得られた区分で求まっている。1月は周期が22年, 残差時系列の回帰係数が $-0.596\text{mm/年}$ であるため、合成時系列は規則的な周期変動を繰り返しながら減少している。11月, 秋は周期が11, 20

Table 5 The significant period and the significant regression coefficient (winter monsoon type pressure pattern)

Section	Period (year)	Regression coefficient (mm/year)
January	22	−0.596
February	19	
March	19	
October	10	
November	11, 20	−0.273
December	11, 12, 19	
Winter	20	
Spring	18	
Autumn	11, 12	−0.315
Year	20	

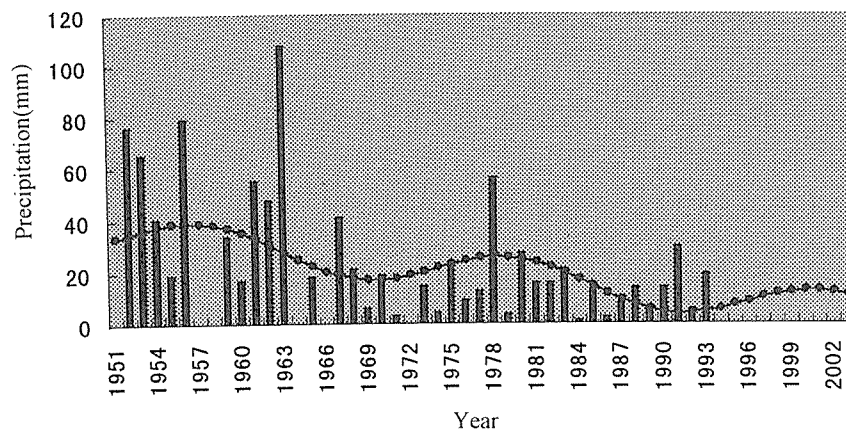


Fig. 5 The synthesis time series (winter monsoon type pressure pattern, January)

年、11、12年、残差時系列の回帰係数が $-0.273\text{mm/年}$ 、 $-0.315\text{mm/年}$ であるため、合成時系列は不規則な周期変動を繰り返しながら減少している。Fig. 5に冬型の気圧配置による降水の合成時系列の1例として1月の場合を掲載している。

#### 4.6 大気的不安定による降水

Table 6に有意な周期成分を示す。周期分析における有意な周期成分は、5、6、7、8月、春、夏、年で得られている。単周期の区分は規則的な周期変動を繰り返す、複周期の区分は不規則な周期変動を繰り返している。また、全体的に9年と20年前後の周期が多く得られた。ここでは、残差時系列における有意な回帰係数は見られない。従って、合成時系列は求まっていない。Fig. 6に

Table 6 The significant period (the instability of atmosphere)

Section	Period (year)
May	9, 15
June	9, 10
July	19
August	32
Spring	9
Summer	20
Year	21

大気の不安定による降水の周期成分の1例として7月の場合を掲載している。

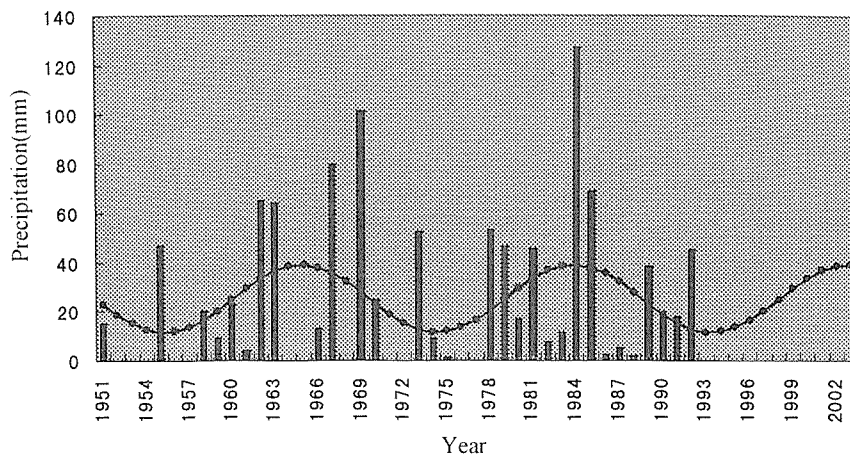


Fig. 6 The periodic time series (the instability of atmosphere, July)

#### 4.7 その他の原因による降水

Table 7に有意な周期成分と有意な回帰係数を示す。周期分析における有意な周期成分は、1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12月, 春, 夏, 秋, 冬, 年で得られている。単周期の区分は規則的な周期変動を繰り返し、複周期の部分是不規則な周期変動を繰り返している。また、全体的に10, 14, 20, 22年という周期が多く得られた。残差時系列における有意な回帰直線は、4, 5, 8, 10, 11, 12月, 春, 秋, 冬, 年で見られる。従って、合成時系列は残差時系列で有意な回帰直線が得られた区分で求まっている。4月, 12月, 春, 冬は周期が22年, 20年, 22年, 19年, 残差時系列の回帰係数が $-0.470\text{mm/年}$ ,  $-0.347\text{mm/年}$ ,  $-1.063\text{mm/年}$ ,  $-0.826\text{mm/年}$ であるため、合成時系列は規則的な周期変動

を繰り返しながら減少している。5月, 8月, 10月, 11月, 秋, 年は周期が10, 21年, 10, 16年, 11, 12, 13, 20年, 14, 21年, 14, 20年, 15, 22年, 残差時系列の回帰係数が $-0.398\text{mm/年}$ ,  $-0.389\text{mm/年}$ ,  $-0.863\text{mm/年}$ ,  $-0.381\text{mm/年}$ ,  $-1.517\text{mm/年}$ ,  $-3.582\text{mm/年}$ であるため、合成時系列は不規則な周期変動を繰り返しながら減少している。Fig. 7にその他の原因による降水の合成時系列の1例として年の場合を掲載している。

Table 7 The significant period and the significant regression coefficient (the other factor)

Section	Period (year)	Regression coefficient (mm/year)
January	14	
February	11, 18	
March	14, 20	
April	22	$-0.470$
May	10, 21	$-0.398$
June	12, 13	
July	10	
August	10, 16	$-0.389$
October	11, 12, 13, 20	$-0.863$
November	14, 21	$-0.381$
December	20	$-0.347$
Winter	19	$-0.826$
Spring	22	$-1.063$
Summer	10	
Autumn	14, 22	$-1.517$
Year	15, 22	$-3.582$



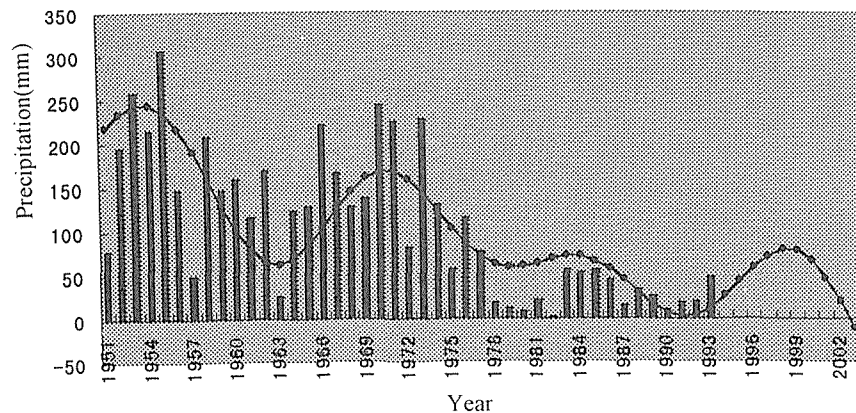


Fig. 7 The synthesis time series (the other factor, year)

## 5. あ と が き

本研究では、長野気象官署の日降水量を基礎データとして、気象原因別に分類し、月、季節、年単位での気象原因別降水量が持つ周期成分と傾向成分の両者に着目し、経年変化の検討を行った。得られた成果を纏めると以下の様になる。

- 1) 対象とした62種類の気象原因を次の7種類に纏めた。①低気圧による降水、②気圧の谷による降水、③前線による降水、④台風による降水、⑤冬型の気圧配置による降水、⑥大気的不安定による降水、⑦その他の原因による降水。
- 2) 合成時系列まで到達したのは次の4原因であった。低気圧による降水においては3区分、前線による降水においては2区分、冬型の気圧配置による降水においては3区分、その他の原因による降水においては10区分。到達した時系列は、単周期の場合は規則的な、複周期の場合は不規則な周期変動を繰り返しながら、増加、あるいは減少していた。それ以外の区分では、傾向成分が得られず、周期成分のみが得られたか、あるいは周期成分も得られない場合があった。周期成分のみが得られた区分は、単周期の場合は規則的な、複周期の場合は不規則な周期変動を繰り返していた。

本研究では、気象原因を長野県気象月報の冒頭部に書かれている気象概況を参考にして62種類に分類して、それを7種類に纏めた。しかしながら、この方法では気象概況を書く人の人為的特性が含まれるため、更に客観的な方法による気象原因の分類が必要となる。天気図を用いるのも客観的な方法の一つと考えている。今後はこの点について更に検討を深めていきたい。

### 謝 辞

本研究を実施するにあたって、62種類もあった気象原因を7種類の気象原因に纏めるのに前長野気象台、現高田測候所の宮下利雄様に御協力頂いた。最後になりましたが記して謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 長尾正志：びわ湖流入量の経年変化について、京大防災研究所年報，第7号，pp.254-264 (1964)。

- 2) 角屋 睦, 小池達男: 降水量にみられる長期的変動について, 京大防災研究所年報, 第 8 号, pp.307-315 (1965).
- 3) 寒川典昭, 中村 哲, 山田広樹: 長野県における月降水量時系列の経年変化と確率水文量, 第 4 回水資源に関するシンポジウム前刷集, pp.775-780 (1992).
- 4) 寒川典昭, 中村 哲, 山田広樹: 年降水量時系列の経年変化と非定常水文頻度分析, 環境システム研究, 第20巻, pp.25-32 (1992).
- 5) 寒川典昭, 中村 哲, 山田広樹: 年最大 1・2・3 日降水量時系列に存在する非定常性と非定常確率水文量の推定, 日本統計学会誌, 第23巻, 第 2 号, pp.249-262 (1993).
- 6) 寒川典昭, 砂長谷浩一: 1・5・10・20年降水量の時系列特性, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, II-59, pp.235-236 (1995).
- 7) R.H.Webb: Late holocene flooding on the Escalante river, south-central Utah, Ph. D. Dissertation, The University of Arizona, Tucson, AZ (1985).
- 8) J.C.Knox: Response of floods to holocene climate change in the upper Mississippi Valley, Quaternary Research, Vol.23, pp.287-300 (1985).
- 9) 寒川典昭, 山下伊千造, 南 志郎: 千曲川下流の歴史洪水の復元と考察, 土木史研究, 第12号, pp.251-262 (1992).
- 10) 寒川典昭, 福澤直樹, 肥田信彦: 長野県における気象原因別降水量の経年・経月変化, 水工学論文集, 第42巻 (1998, 印刷中).
- 11) 財団法人日本気象協会長野センター: 長野県気象月報 (1951-1993).
- 12) 鈴木榮一: 気象統計学, (地人書館, 1968) p.145.
- 13) 文献 12)に同じ, p.140.
- 14) 文献 12)に同じ, pp.140-141.
- 15) 藤沢偉作, 池内 智: 予測の理論 (現代数学社, 1988) p.65.
- 16) 福澤直樹, 寒川典昭, 渡邊敦之: 季節・年降水量を構成する気象原因別降水量の特性, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, II-42, pp.213-214 (1996).