

北海道中央部における降水量の相関分析

正 員 ○星 清*
正 員 藤 田 睦 博**
正 員 山 岡 勲***

1. はじめに

水資源としての地表水の解析にあたっては、その供給源としての降水量の空間的、時間的変動の把握が必要である。我が国においては、一般には流量観測の歴史は 20~40 年程度であるのに反し、降水量観測の歴史は 70~80 年程度である。しかも流量は水位流量曲線を用いて水位から算出し、水位流量曲線が適切でないと大きな誤差を生ずる。降水量については測定誤差は流量よりは、はるかに小さく、長期間の水資源の解析には降水量の空間的変動の把握が不可欠である。

本報告では北海道中央部、とくに石狩川流域を中心にして、降水量の地域的、季節的特性を相関分析法で解析した結果を述べる。

2. 相 関 分 析

北海道の地形の概略を図-1 に示す。解析対象地域は北海道中央部を走る北見山脈、日高山脈で二分される西部、北は天塩川流域、南は苫小牧に至る北海道の面積の約 30% を占めている。図-2 に対象流域、及び採用した雨量観測所

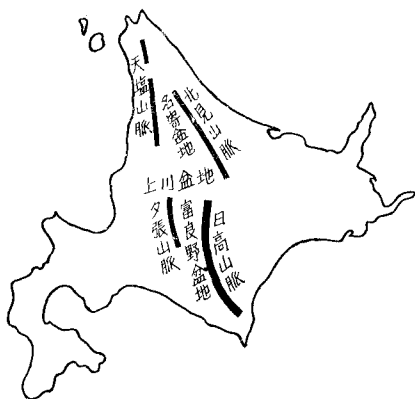


図-1

の位置を示す。既設観測網の中で比較的長期資料が豊富な観測所を Key Station とする (以後 K.S. と略す)。それを図-2 の黒丸で示す。Water year は北海道の積雪期間を考慮して、11 月から 10 月までとする。

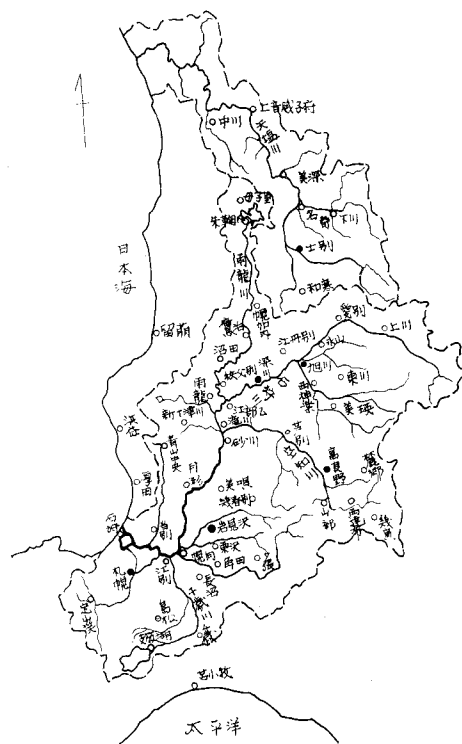


図-2 雨量観測所名

2-1 時間的変動解析

Trend, Periodicity, Persistence の存在を調べるために、K.S. の月降水量の Correlogram を求める。その代表的例を図 3-A, 3-B, 3-C に示す。図中の N は資料個数を示す。同図から月降水量は Periodic Component と white Noise Component の和で表わされ、Trend, Persistence

* 北海道大学工学部 助 手 工修
** 北海道大学工学部 助教授 工修
*** 北海道大学工学部 教 授 工博

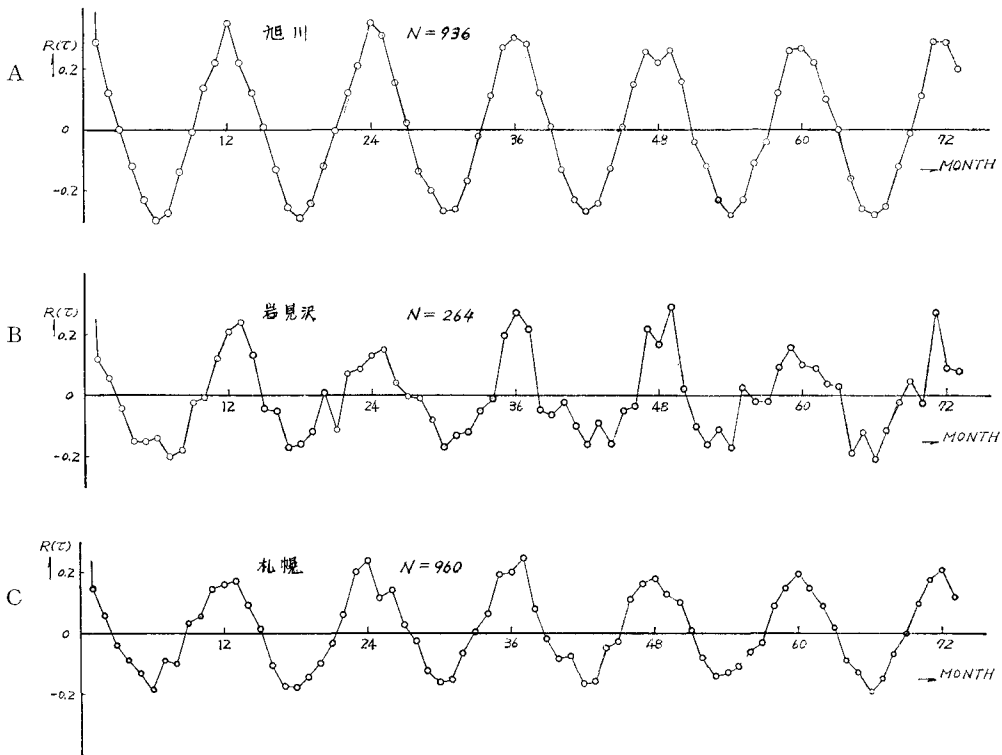


図-3 月降水量のコレログラム

は見られない。したがって Time Homogeneity は満されているようであり、他の観測期間の短い観測所においても Time Homogeneity の仮定は成立していると思われる。この結果は欠測期間を有する雨量観測所の資料を使用する際に重要である。

いま Correlogram の振動部分の最大振幅を r_p とすれば、全変動中の $r_p \times 100\%$ が Periodic Component に、 $(1-r_p) \times 100\%$ が White Noise Component に分配される。各地点の月降水量に占める Periodic Component の割合は異なっており、これを表-1 に示す。

表-1

地	点	Periodic Component の割合
旭	川	30%
岩	見 沢	20%
札	幌	20%
苫	小 牧	40%
留	萌	30%

2-2 空間的変動解析

まず Key Station とその周辺の衛星 Station 間の毎月の単相関係数を求める。単相関係数 (r) は次式による。

$$r = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i y_i - \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 - \bar{x}^2} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2 - \bar{y}^2}} \quad (1)$$

ここで

N : 観測 個 数

x_i : Key Station の降水量

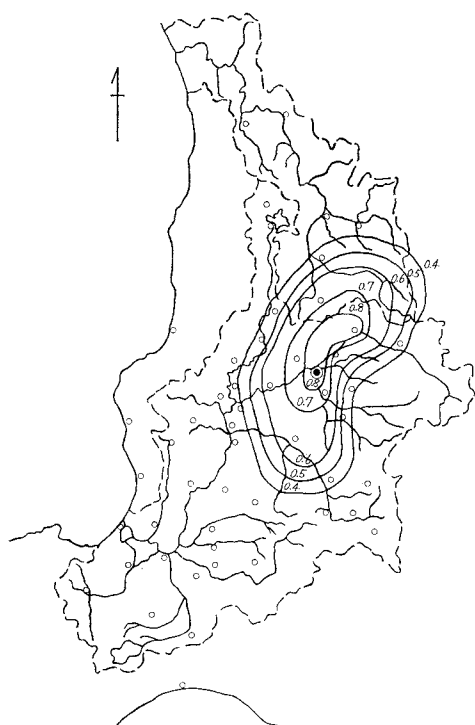
y_i : 衛星 Station の降水量

$\bar{x}$: x_i の平均値

$\bar{y}$: y_i の平均値

一例として空知川上流部、富良野 K.S. (衛星 Station 10 個) における冬期、夏期の代表として 11 月、8 月の単相関係数の計算結果をそれぞれ表-2 A, 2 B に示す。なお各欄の上段は単相関係数、下段は観測個数を示す。旭川、美深、富良野、岩見沢の各 K.S. の冬期、夏期の等相関係数線図をそれぞれ、図-4、図-5、図-6 に示す。

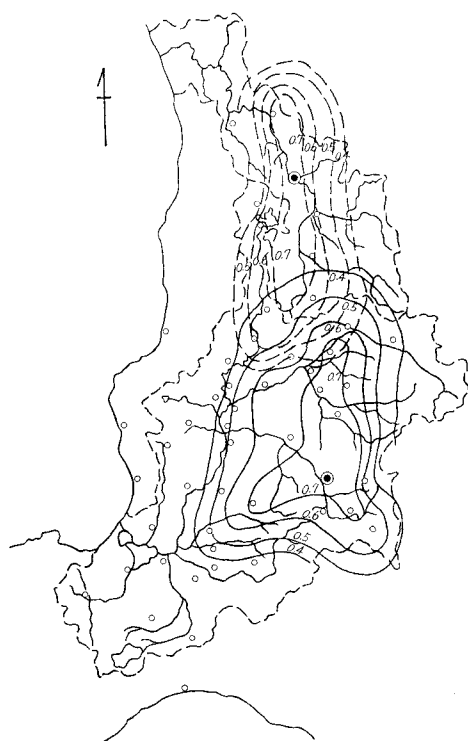
これらの図によると、等相関係数線は相互に関連していると思われる地形特性と気象特性との影響によって、ほぼ楕円形状を示している。旭川 K.S. については冬期は楕円長軸の方向はほぼ南北、夏期は長、短軸の差が小さく、むしろ同心円に近い。富良野 K.S. の例では、冬期、夏期ともに長軸の方向は南北である。一方岩見沢 K.S. については冬期においては長軸の方向が東西、夏期は南北に明確である。これらの等相関係数線の同心円の歪み方向は、気象



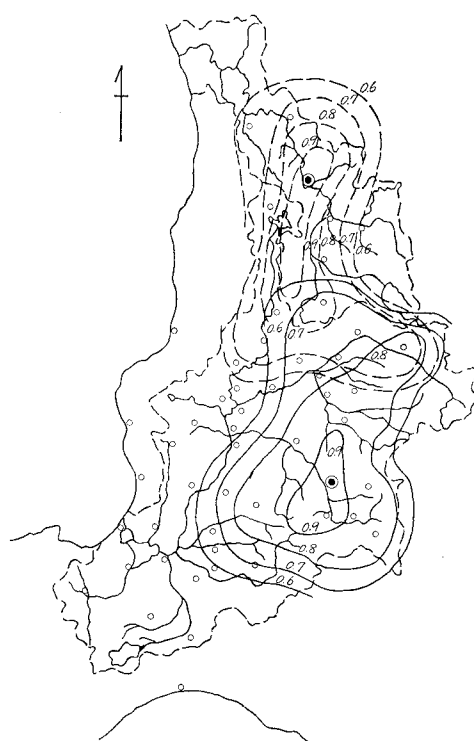
図—4A 等相関係数線図 12月(旭川中心)



図—4B 等相関係数線図 6月(旭川中心)



図—5A 等相関係数線図 11月
富良野中心(—)
美深中心(---)



図—5B 等相関係数線図 8月
富良野中心(—)
美深中心(---)

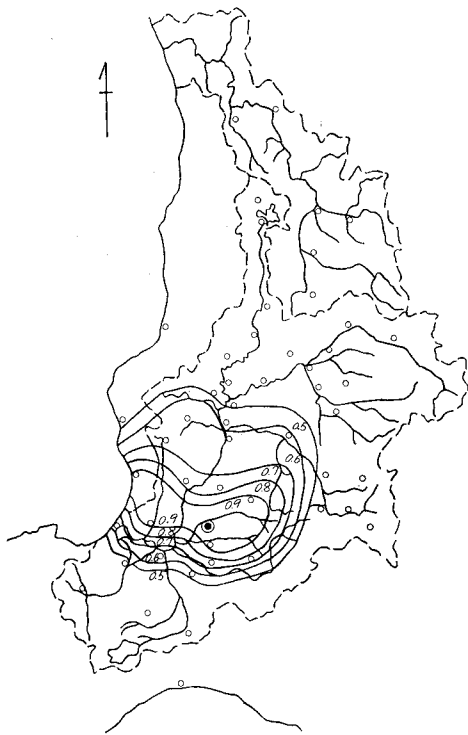


図-6A 等相関係数線図 11月 (岩見沢中心)

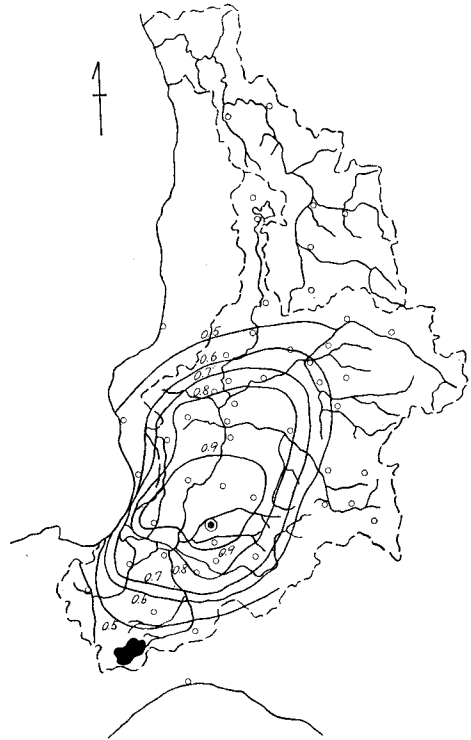


図-6B 等相関係数線図 7月 (岩見沢中心)

表-2A 単相関係数 11月

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	地 点	
			0.750 48	0.690 48	0.625 44	0.337 45	0.511 40	0.675 31	0.754 27	0.688 14	0.727 17	0.776 15	1	富良野
富良野	1			0.785 51	0.642 47	0.358 48	0.521 43	0.705 34	0.698 30	0.628 16	0.872 17	0.762 15	2	西達布
西達布	2	0.895 50			0.582 46	0.324 47	0.586 43	0.568 34	0.760 30	0.528 16	0.746 17	0.521 15	3	山 部
山 部	3	0.904 50	0.931 52			0.263 43	0.672 38	0.446 29	0.815 26	0.728 15	0.734 17	0.769 15	4	芦 別
芦 別	4	0.829 48	0.830 50	0.812 50			0.240 41	0.536 32	0.394 29	0.408 15	0.526 17	0.500 15	5	夕 張
夕 張	5	0.715 45	0.783 47	0.735 47	0.731 45			0.341 33	0.397 30	0.500 16	0.693 17	0.584 15	6	麓 郷
麓 郷	6	0.882 45	0.805 46	0.855 46	0.815 44	0.799 43			0.689 20	0.446 15	0.772 10	0.680 9	7	幾 寅
幾 寅	7	0.853 33	0.922 34	0.920 34	0.837 32	0.799 33	0.875 34			0.833 15	0.890 16	0.737 15	8	美 瑛
美 瑛	8	0.845 37	0.824 38	0.823 38	0.935 37	0.764 37	0.799 38	0.807 28			0.986 8	0.921 7	9	東 川
東 川	9	0.836 16	0.751 17	0.793 17	0.892 17	0.772 17	0.808 17	0.778 17	0.953 17			0.631 15	10	西神楽
西神楽	10	0.802 17	0.731 17	0.729 17	0.909 17	0.763 17	0.853 17	0.798 10	0.950 17	0.987 9			11	幾春別
幾春別	11	0.861 16	0.775 16	0.769 16	0.889 16	0.924 16	0.801 16	0.741 10	0.843 16	0.916 9	0.748 16			
地 点		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		

表-2B 単相関係数 8月

と地形との影響の度合の強さを明確に示していると考えられる。すなわち、岩見沢、旭川、富良野の順に気象の影響の卓越する地域から地形の影響の優越する地域に移ること

を示し、図-1の地形図及び気象的には降水を伴う気圧配置が冬期は西北より、夏期は南北より進行してくることとも考え合わせて興味深い。なお、美深 K.S. を中心とする

等相関係数線図も富良野 K.S. の例と同様、冬期、夏期ともに長軸の方向が南北となり、この2つの地域は南北の山脈にはさまれる地形による効果が顕著である。

単相関係数は2地点間だけの相関を考慮したものであるから、図-4, 5, 6から直ちに空間的な性状を論ずることは正しくない。すなわち空間的な性状を把握するためには、その空間に含まれるすべての観測所間相互の単相関係数を求める必要がある。表-2は富良野地域11個の観測所のすべての組合わせの単相関係数を求めたものである。著者らは空間的相関の度合を把握するために各地域の単相関係数

表-3

月	旭川 (15) %	士別 (15) %	富良野 (11) %	岩見沢 (20) %	札幌 (17) %	深川 (18) %
11	69	45	89	62	41	45
12	42	33	31	43	35	36
1	49	40	60	32	21	40
2	71	63	55	47	32	40
3	74	65	95	69	44	54
4	73	52	89	92	77	45
5	84	74	82	76	81	63
6	85	74	73	99	92	67
7	84	73	86	98	78	60
8	86	73	100	99	86	72
9	80	66	100	91	91	71
10	87	76	96	97	79	66

() 内は観測地点数

を、危険率5%の*t*分布(自由度 *N*-2)で棄却検定したもののうち、有意なものの比率を求めたものを表-3に示す。この表によれば、冬期の方が夏期よりも相関性が小であるといえる。このことは冬期の積雪はかなり局所的に変動することと符号していると思われる。

さらに著者らは K.S. を中心とする相関性の強弱の方向を調べるために重相関係数を求める。重相関係数 $r_{1(2,3,4,\dots,n)}$ は次式で定義される。

$$r_{1(2,3,4,\dots,n)} = \sqrt{1 - \frac{R}{R_{11}}}$$
 (2)

ここで

$$R = \begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & \cdots & r_{2n} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & \cdots & r_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} & \cdots & r_{nn} \end{vmatrix}$$
 (3)

r_{ij} : Station *i* と Station *j* 間の単相関係数

$$r_{11} = r_{22} = r_{33} = \cdots = r_{nn} = 1$$

$$r_{ij} = r_{ji}$$

R: (3)式の第1行と第1列を除く余因数、すなわち

$$R_{11} = \begin{vmatrix} r_{22} & r_{23} & \cdots & r_{2n} \\ r_{32} & r_{33} & \cdots & r_{3n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{n2} & r_{n3} & \cdots & r_{nn} \end{vmatrix}$$
 (4)

実際の計算にあたっては空間の大きさと計算の簡易性から *n*=4 とする。この計算結果を表-4に示す。この表からわかるように重相関係数はかなり良好で各地域の範囲内で

表-4 重 相 関 係 数

区 分	観 測 所 名	11月	12	1	4	7	8
A	士 別・名 寄・美 深・上音威子府	0.797	0.501	0.548	0.834	0.761	0.825
B	士 別・朱 鞠 内・母 子 里・中 川	0.879	1.000	0.847	0.706	1.000	0.944
C	士 別・和 寒・幌 加 内・鷹 泊	0.891	0.528		0.793	0.915	0.834
D	士 別・和 寒・愛 別・上 川	0.878	0.544	0.642	0.701	0.853	0.863
E	士 別・和 寒・永 山・旭 川	0.839	0.509	0.658	0.828	0.870	0.853
A	旭 川・愛 別・永 山・上 川	0.729	0.701	0.737	0.960	0.853	0.958
B	旭 川・美 瑛・東 川・西 神 楽	1.000	0.715	0.924	0.946	1.000	0.858
C	旭 川・江 丹 別・和 寒・士 別	0.689	0.835	0.681	0.907	0.761	0.832
D	旭 川・江 丹 別・深 川・雨 竜	0.795	0.873	0.881	0.814	0.894	
A	深 川・幌 加 内・朱 鞠 内・母 子 里	0.789	0.813	0.832	0.744	0.694	0.903
B	深 川・秩 父 別・沼 田・留 萌	0.995	0.898	0.627	0.888		0.827
C	深 川・江 部 乙・砂 川・美 唄	0.852	0.994	0.555	0.846	0.986	0.968
D	深 川・新 十 津 川・青 山 中 央・浜 益	0.806	0.821	1.000	0.890	0.896	0.939
E	深 川・江 丹 別・旭 川・永 山	0.920	0.703	0.549	0.869	0.845	0.946
A	富 良 野・旭 川・美 瑛・西 神 楽	0.770	0.563	0.757	1.000		0.953
B	富 良 野・山 部・芦 別・幾 寅	0.801	0.739	0.605	0.692	0.901	0.919
C	富 良 野・西 達 布・麓 郷・幾 寅	0.792	0.646	0.539	0.753	0.804	0.941

区 分	観 測 所 名				11月	12	1	4	7	8
A	岩 見 沢・幌 向・江 別・札 幌				0.893	0.582	0.470	1.000	0.882	0.702
B	岩 見 沢・栗 沢・長 沼・苫 小 牧				0.961	0.705	0.837	0.953	1.000	0.828
C	岩 見 沢・美 唄・砂 川・新十津川				0.746	0.439	0.603	0.815	0.934	0.796
D	岩 見 沢・栗 沢・角 田・夕 張				0.941	0.767	0.688	0.982	1.000	0.665
E	岩 見 沢・美 唄・幾 春 別・芦 別				0.949	0.943	0.822	0.823	0.944	0.828
F	岩 見 沢・当 別・月 形・厚 田				0.969	0.943	0.583	0.944	0.973	0.859
A	札 幌・浜 益・石 狩・厚 田				0.765	0.692	0.391	0.790	0.638	
B	札 幌・月 形・当 別・青山中央				0.950	0.759	0.433	0.947	0.757	1.000
C	札 幌・岩 見 沢・江 別・定 山 溪				0.851	0.737	0.884	1.000	0.876	0.928
D	札 幌・支 笏 湖・苫 小 牧・島 松				0.730	0.651	0.796	1.000	0.762	0.850

は相関性がとくに強い方向は示されなかった。これは各地域内では空間が小さすぎたためと思われる。

3. む す び

- ここで結果を要約してみると、
1. 単相関係数から月毎に相関性が強い方向がわかった。
 2. それが地形的ないし気象的要因に関連している。
 3. 重相関係数を利用して、資料が少ない観測所の資料をより高い精度で得ることが可能である。
 4. 観測所が近接していても、必ずしも相関係数は高いとは言えず、時間的・空間的考慮が必要である。重相関係数は回帰平面の概念に基づくものであり、その意味では有効である。
 5. 今後の研究課題としては、空間を拡大して地域間にお

ける重相関係数を調べ、相関の方向性を吟味したい。

お わ り に

資料を提供していただいた札幌气象台，ならびに膨大な計算に協力していただいた4年目学生大泉正太郎君に感謝いたします。

参 考 文 献

石原藤次郎・池淵周一： 降水観測網の統計的検討。
 第24回土木学会年次講演会概要集 (II)，昭和44年。
 淡中忠郎： 統計学の理論と応用，養賢堂。
 科学技術庁資源調査会： 水資源の変動様相に関する調査報告，報告第34号。