

北海道大学 工学部 正倉 ○ 山岡 勲
 大学院 学生員 藤田 睦博
 工学部 学生員 天谷 直純

石狩川流域は積雪期間をもつ河川流域であり、防災（及び水資源）工学上も年降雪量と降水量との比率とその分布に関する調査は重要なことだが、従来余りこの種の研究をみない。筆者らは図-1に示された気象台関係、北海道開発局関係の降水観測諸地点における最近10個年のデータを蒐集整理して、石狩川全流域を本流3区域及び各支流の合計11の地域に分けて（表-1）、年間降雪・降水量の比率分布を求め（各地域別に0.2~0.4）2,3の知見をえた。また札幌における気象台の76年降水資料によってその時系列変動について調べ、1年の季節変動はあるが年降水量、年降雪量の系列は76年という有限の資料の中では乱数と同様なラレダム変動と考えられること、また更に短かい資料年数で採って母集団を推定している筆者らの場合の誤差の推定などについてこれまでの研究成果を中間報告する。

1. 本流域における降雪・降水量の相関

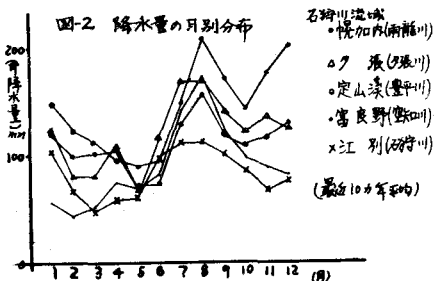
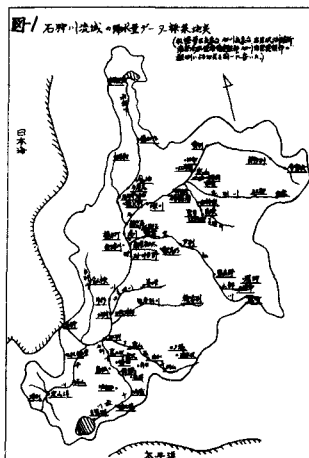
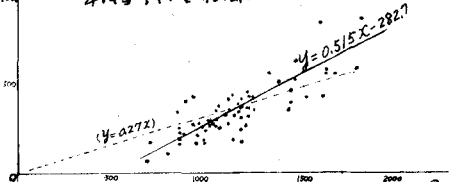
図-1に示す観測所の資料のうち1例として各支流判5地点における降水量の月別分布を図-2に示す。秋の台風をいよいよ降雨^{（の雨）}に2~3月の降雪による降水量もかなりの量を示している。各地点の資料は降雪量と降雨量より分けられていないので、11月下旬から3月下旬場合によっては4月まで毎日の気象図などを参考に基準を求めて分離した。結果的には12~3月を降雪量としても大差ない。表-1に示される11の地域毎に以上の作業によってえられた降雪量と年降水量との相関図を作り直線式と相関を表わしてその相関係数Rを検討した。その1例が図-3に示される。 $y = r x + E, R = \frac{\sum x_i y_i}{\sqrt{(\sum x_i^2)(\sum y_i^2)}}$

その結果は表-1に示されるとおり本流や流と空知川上流の相関は良くないが（降雪量の少ない流域で年変動の影響が大きいと思われる）、他の流域では何れも有意

の相関を示している。

この相関については何れの地域においても

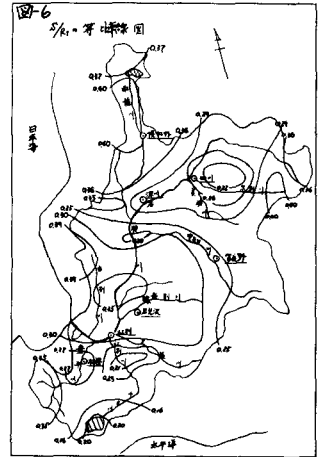
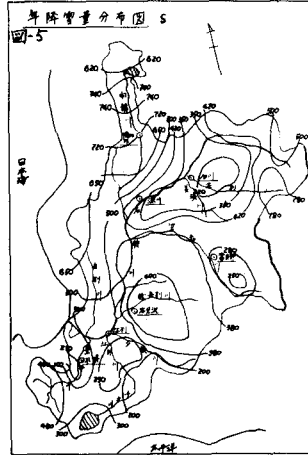
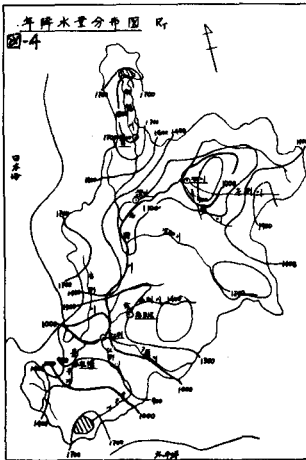
図-3 石狩川本流3流域域における年降雪・降水量相関図



河川名	プロット地名	直線式	相関係数R
石狩川	愛別・美幌・厚岸	$y = 0.230x - 141.1$	0.7189
中流	比布・伊達・神谷・深川	$y = 0.462x - 200.75$	0.2743
下流	比布・神谷・伊達・厚岸・美幌・厚岸	$y = 0.615x - 282.7$	0.7935
支流	空知川・厚岸	$y = 0.294x - 141.1$	0.5917
南流	比布・伊達・神谷・厚岸	$y = 0.462x - 200.75$	0.7626
北流	比布・伊達・神谷・厚岸・美幌・厚岸	$y = 0.615x - 282.7$	0.6903
東流	比布・伊達・神谷・厚岸・美幌・厚岸	$y = 0.615x - 282.7$	0.9166
西流	比布・伊達・神谷・厚岸・美幌・厚岸	$y = 0.615x - 282.7$	0.7241
南支	比布・伊達・神谷・厚岸・美幌・厚岸	$y = 0.615x - 282.7$	0.7732
北支	比布・伊達・神谷・厚岸・美幌・厚岸	$y = 0.615x - 282.7$	0.7185
中支	比布・伊達・神谷・厚岸・美幌・厚岸	$y = 0.615x - 282.7$	0.5826

表-1 11流域別 降雪・降水直線式と相関係数

観測地無1箇所、たとえば札幌(26年)だけをとって相関係数を求めても $R=0.4964$ とよくなく、その地域の数箇所の観測地点の資料を併せ用いると、たとえば豊平川として定山溪などと併せて地域グループ毎にみると表-1の如く $R=0.589$ と高い相関がえられるということは興味深いことである。これは降水の地域分布にも関係しているものと思われる。



2. 降雪・降水量の比率とその分布

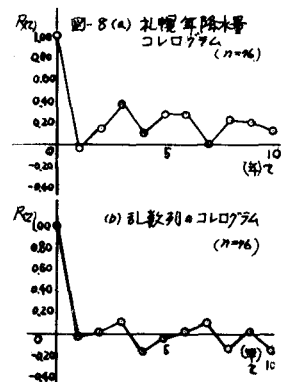
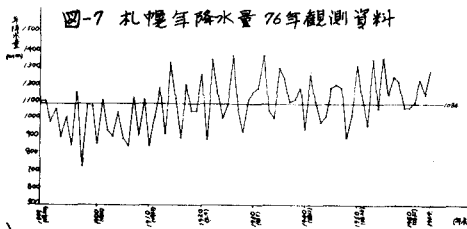
前節では各地点の降雪・降水量の相関は原点をとおる直線式で求められたが、^(図-3) 適合度はやや劣るとしてもその比率 (S/R_1) の方が実用上便利である。観測点が流域面積に比べて十分でなく、平地にかんづいては正確な年降雪量図或は比率図をかくことはできないが、プロットできる地点について地形図を参照してまとめてみたものが図-4(年降水量)、図-5(年降雪量)及び図-6(その比率の分布)に示された。図-6で分かるように比率は $0.2 \sim 0.4$ で地域ごとにほぼ一定の値をもつ分布しているが、両苔川流域で流石な豪雪地域の比率は顕著に現れている。このように地域的にはかなり変化のあることが分るが、各地点や流域内では年降雪量より著しく(正規化の変動係数が小さく)便宜的にはその地域で定数として用いられよう。(図-9)(年降水量の変動係数と同程度である)。

3. 時系列解析

もし年降水量や降雪量に周期性や傾向変動が認められれば、(周期変動+傾向変動+ランダム変動)として扱われ、将来生起時系列の発生又は予測に可能である等である。

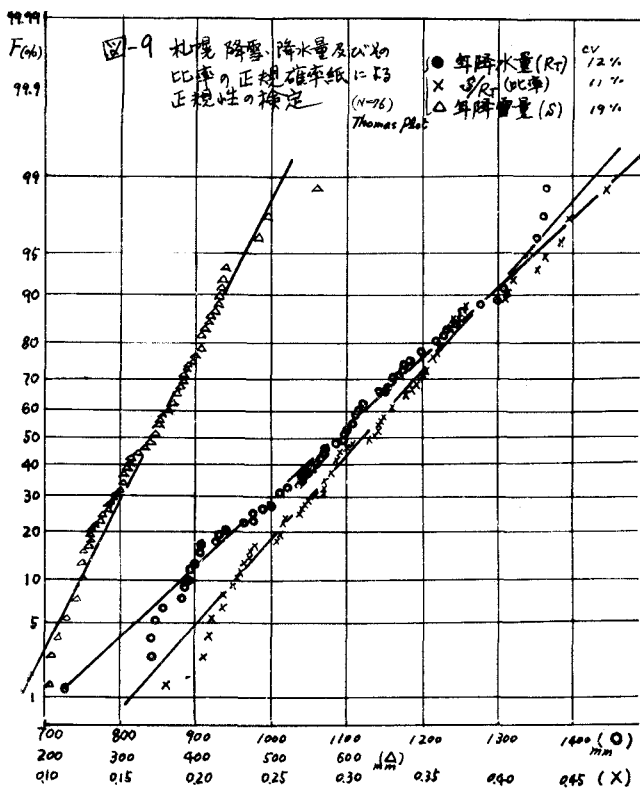
図-7 は札幌の明22(1989)から昭39(1964)までの26年の年降水量の時系列を示す。これを移動平均法で短期または長期変動をみると、周期性または傾向性変動があるように思われるが^{1) 2) 3)}、自己相関係数

(はレログラム法)によるランダム解析を行った結果は図-8(a)の如くて、同数の乱数列から示したコ

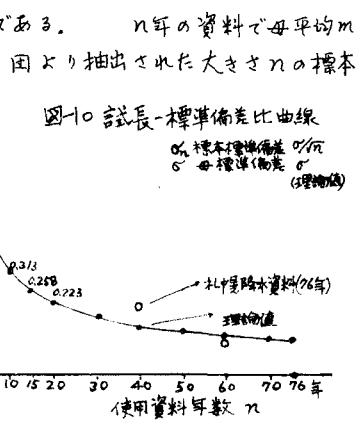


と比較しても乱数と同じ程度のランダムである⁴⁾と云える。(北大H19AC 103使用)
 Los Angeles 市の場合も⁵⁾ 移動平均法は傾向を消すので望ましい方法ではなく、コレログラム法による年降水量のランダム性を認めているが、結局100年足らずの有限の資料からは周期性や傾向性が認められるには資料不足という意味で、ここではランダム変動であると考えてよいであろう。

次に76年の資料による降雪、降水量 Δ の比率の正規性の検定が図-9に示される。他の地点4ものも正規型であることが確かめられて、母集団が正規型であることを前提として母集団の推定が行われた。この場合何年資料を採ればどの位の分散であるかということも、比較的資料年数の短い本流域の水文資料をも



ってダム等の水理構造物の設計を行なう立場では関心のあることである。
 母分散 σ^2 なる母集団を推定する場合、確率論的考察では母集平均値はそれぞれ自身一つの確率変数であり、その平均は母平均に一致し分散は母分散の $1/n$ になる。従って標本の標準偏差と母集団のそれの比は $1/\sqrt{n}$ で、試長 n との関係が図-10に示される。有限の資料年数から然も連続 n 年をとって計算した札幌の計算結果も同図に示されたが、この場合は $n=5$ では72通りに使えた資料が $n=70$ では17通りしか採れない。この図でみても少なくとも15, 20年位の資料が必要なのが分り、現在北海道でよく採られる10年資料は許される



最低限度の試長と云えるかも知れない。図-11は同じく札幌の降水資料で信頼係数95%の場合の母平均推定の上下限差を試長別にプロットしたものであるが、1889年を初年度とする各年資料によるもの、有限76年中連続 n 年資料をとれるすべての例についての計算値の平均値、1964年を最終年とする最近 n 年資料によるものである。また参考のため母分散を既知(76年母分散)として信頼区間推定した理論値を点線で示した。(連続に限らない n 年)。この図からも図10と同様なことが云える。(札幌10年資料を採っても上下限幅を十分考慮するならばかえって安全側であるとは云える。)

次に月雨量時系列に対するコレログラムは一部周期性があることを示す。すなわち季節の変動があ

るわけで、この周期性の変動成分と全くランダムな変動成分とからなり、これらの比重は気象的地帯別に变化すると考えられるが、札幌を代表としている石狩川流域の場合はランダム変動のいめる割合が比較的大きいようである。しかし、12月の周期をもつということは、毎年の降雪量がランダムであるに因る年降雪量比率が近似的には一定である(流域別)としても実用上支障のない程である要因だと思われる。

月降雪量時系列に於て各月間の(24時間)の相関が有意であれば、Markov 過程による月降雪量時系列の発生ができて、12~3月を併せて降雪量の時系列発生が可能であるが、各月間の降雪量相関は低かつた。次に年降水量には周期性が認められず、月降水量には認められなかつたが、2月降水量、3月降水量、4月降水量時系列に関してはどうかということもコレログラム法で検討中である。4ヶ月を12~3月と区切ると降雪と降雨に、降雨Ⅱの期間となり本研究には好都合なわけである。

また年降水量の20年、30年資料が与えられれば、10年資料から(降雪量 y_i 、降水量 x_i ともランダムで正規型の場合係数 r を一定としてその誤差の E_i の正規性を検定しておき) Monte Carlo 法で n とはば総数1,000枚のカードを用いて平均値 m 、分散 σ^2 ($\sigma^2=6.326$)をもつ正規分布を作り、 m, σ を任意にとつて各年の正規分布に合せるという方法²⁾で E_i を発生して $y_i = rx_i + E_i$ を求めることができるから統計量としての20年、30年間の降雪量を推定することからできる³⁾。

以上本研究の中間報告を行ない、文部省科学研究費(特定研究)による成果の一部であることを記し、本研究の機会を与えられた有益な御助言をいただいた岸力教授に感謝致したい。また有益な参考となった京都大学 角屋教授、石原教授の御研究、科学技術庁 資源局の御研究に對しても謝意を表するものである。

参考文献

- 1) 角屋・小池：降水量にみられる長期的変動について，京都大学防災研究所年報第8号 (BB40.3)
- 2) 石原(西)：河川流出に関する諸問題，1966年度水工学に関する夏期研修会講義集，11-09 (BB41.8)
- 3) 角屋：流量の統計的予測，水工学に関するシンポジウム，(BB42.2)
- 4) 科学技術庁資源調査会報告第34号，水資源の変動様相に関する調査報告，科学技術庁資源調査会 (BB40.10)
- 5) J.R.Crippen: Cycles in Hydrologic Data, Transactions of the A.S.C.E., Vol. 131, 1966
- 6) L.A.Rosner, V.M.Yevdjovich: Mathematical Models for Time Series of Monthly Precipitation and Monthly Runoff, Hydrology Papers, Colorado State University, Fort Collins, Colo., Oct, 1966
- 7) 岸：非定常 Markov 過程を用いた流量時系列の推定，北エヌ研河川研究室，Oct, 1966

※ 降雪量は年降水量より3-4ヵ月のみを抜き出したもの故変動係数がより大となっていることは前述のとおりであるから係数 r を用いて年降水量より降雪量を発生させる方法では10年の降雪量資料より直接発生させた20,30年の降雪量より性質の良いものを得る筈である。

