

水文データによる水収支解析と水文年に関する考察

環境システム工学課程 4年 大熊 崇司

指導教員 陸 旻皎

1. はじめに

水文データを扱う際、流域内の水収支がどのような傾向を辿るかとはとても重要であり、水収支方程式はその基本となる。

$$s_2 - s_1 = \Delta s = P - Q - ET \quad (1.1)$$

s_2, s_1 : それぞれ t_2, t_1 時の貯留量[mm], P: 降雨量[mm],

Q: 流出高[mm], ET: 蒸発散量[mm]

(1.1)式に示す水収支方程式の時間 t_1 から t_2 の期間を1年とすることで、 $s_2 - s_1$ の値を0とすることが出来る。しかし、通常のカレンダー一年の通り 1月1日を開始期とすると、降雪地域では 12 月末日時点で流域内に積雪が見られる。

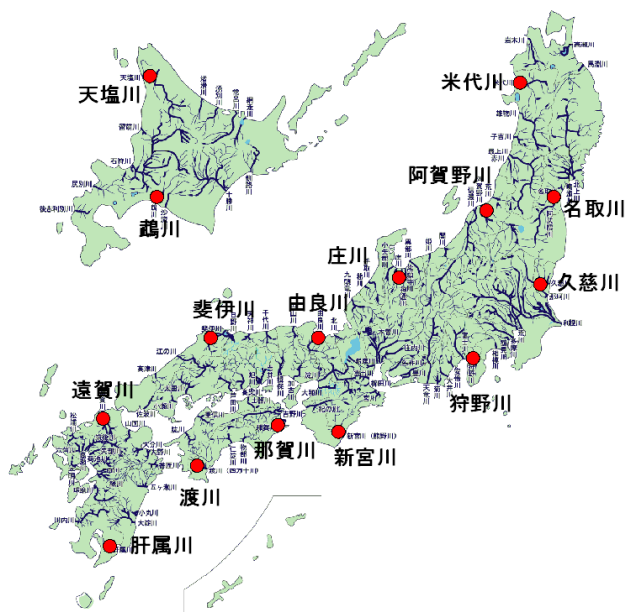


図 1: 解析対象河川流域

このような地域では、1 つ前の年の雪の堆積量分の水量が計算したい年の水量分に足されることとなり、カレンダー一年を用いての水収支の計算をすると貯留量 $s_2 - s_1$ が 0 にはならない。

そのため、カレンダー一年を用いて、年水収支を計算することは相応しくないと考える。そこで、流域内が最も乾いて気候が穏やかな時期を開始期とする水文年を用いた集計方法が使われている。

2. 手法

2.1 研究手法

本研究では、一級河川流域の水文年の開始期を調査する。流域ごとの雨量、流量の観測データを日本河川協会発行の雨量・流量年表データベースから抽出し、どの時期に最も流域内が乾燥しているかを調べ、流域ごとの水文年の開始期を定める。これを行うことで、流域ごとの水文年の開始期の違いを比較でき、地域的、気候的な水文年の開始期の特徴を把握することができる。

図1に示す15箇所の河川流域を対象とし、流量データ、雨量データを解析することで、水文年の開始期を決定する。これら15箇所の河川流域の水文年の開始期を日本地図上にプロットすることで、地域ごとに水文年の開始期がどのような傾向を辿るかを把握できる。また、水文年とカレンダー一年による集計結果を比較し、水文年を考慮することの水収支計算への影響について検討し、15箇所の河川流域の検討結果を地図上に載せ表示する。

表 1: 抽出データ様式

441	1	-	-	52.3	6.5	0	0.5	4.2	-	-	-
441	2	-	-	9.7	0	-	21.3	9.5	3.4	-	-
441	3	-	-	15.5	0	1	-	24.4	25.6	3	16.8
441	4	-	-	-	-	-	20.9	-	-	-	-
441	5	56.1	-	2.5	10.5	143.6	6.3	5	22.4	6.4	1.5
441	6	72.4	22.7	-	2.1	4.1	51.8	125.6	3.1	-	-
441	7	19.1	0.4	112.8	31.1	-	-	2	-	1	-
441	8	81.4	15.6	-	-	-	-	-	-	-	-
441	9	-	-	3.2	18.9	-	-	-	-	-	-
441	10	-	-	-	-	-	-	8.1	-	5.7	-
441	11	-	18.8	4.2	-	-	-	-	-	-	-
441	12	-	-	-	7.5	-	-	-	-	9.7	3.8

2.2 解析手法

ここでは、データの抽出方法、抽出したデータの修正・比較方法について説明する。

2.2.1 データの抽出

まず、雨量・流量年表データベースから1年ごとに集計された対象河川、河川流域内の観測データをExcelファイルで出力する。観測データは、表 1の形で出力される。1列目は観測所の番号を示し、2列目は、観測された月を示している。また、3列目以降は、それぞれ1日目から31日目の観測結果を表している。このように出力された1年ごとのデータを、1月から12月まで全ての観測データを含んだ1列のデータに変更する。表1.2のデータを観測開始年から最終年までの全年分のデータをひとつにまとめる。

このようなデータを1つの流域に対して、雨量データと流量データの2つを用意する。

2.2.2 閏日のデータの削除

2.2.1の手順で抽出したデータには、閏年のデータが含まれている。2月29日閏日は、他の日と比べ1/4しかデータがないため、本研究では閏日の雨量・流量データは含めないこととする。そこで、表2.3のデータから閏日の値のみを削除する必要がある。

表 2のように、閏年と平年では、2月29日以降1日ずれて表示されてしまう。そこで、表 2の太枠で囲われた値を削除し、表 3の形に修正する。これにより、全観測データが365日のデータとなる。

2.2.3 流量データを流出高データへ変換

雨量 $P[\text{mm/day}]$ と流量 $Q[\text{m}^3/\text{sec}]$ を比較する上で、単位を統一する必要がある。流量 $Q[\text{m}^3/\text{sec}]$ を流域面積 $[m^2]$ で割ることで、流域面積の大きさによる流量への影響がなくなり、他流域と比較しやすくなる。そのため、流量を雨量の単位に合わせ、流出高 $q[\text{mm/day}]$ に変換する。

$$q[\text{mm/day}] = Q \div A \times 86.4 [\text{mm/day}] \quad (2.1)$$

2.2.4 雨量データ・流出高データの10日移動平均

雨量データ、流出高データ共に降雨があった日とない日で値が大きく変わる。そのため、雨量データ、流出高データの標準偏差が大きくばらつきのあるデータとなっている。ばらつきを抑え、季節的な降雨量、河川を流れる水量を把握するために、雨量、流出高の観測データを10日移動平均する。

n 日目の雨量を P_n とするとき、10日移動平均雨量 $P[\text{mm/day}]$ は、

$$P[\text{mm/day}] = \Sigma(P_{n-4} + \dots + P_n + \dots + P_{n+5}) / 10 \quad (2.2)$$

にて計算する。

流出高 $q[\text{mm/day}]$ についても同様に計算する。

2.2.5 対象河川流域の水文年の開始期の決定

10日移動平均流出高が最も小さい日を最も乾燥している時期とし、水文年の開始期とする。しかし、冬季になると降った雪が河川から流れていなくなり、流域内に堆積されていく。そのため、流域内が乾燥していないにもかかわらず、雪の堆積により流出高が小さくなることが考えられる。雪の影響が含まれた上での流出高が最も小さい時期を開始期として選んでも、水文年の開始期としては相応しくない。

そこで、10日移動平均雨量と10日移動平均流出高の相関係数を出すことで、雪の堆積の影響がある流域であるのか、影響のない流域であるかを判定する。図 2の肝属川流域のように、相関係数が高く算出されるならば、降雪がない地域または雪の堆積の影響があまりない流域と判定できる。一方、図 3の天塩川流域のように、10日平均雨量と10日移動平均流出高の推移に差異が見られ、相関係数が低く算出されるならば、降雪があり、雪の堆積の影響を受ける流域と判定できる。積雪の影響があまりない流域は、10日移動平均流出高の最も小さい日をそのまま水文年の開始期とすれば良い。そして、雪の堆積の影響を受ける地域の水文年は、冬季から雪解けの時期までの期間のデータを含めずに、最も10日移動平均流出高が小さい日を水文年の開始期とする。

表 2: 閏日のデータを削除する前の観測データ

	平年	閏年	1956	1957	1968	1969	1970	1971	1972	2000	2001	2002	2003
59	2月28日	2月28日	9.5	-	1.8	6	-	-	11.5	-	12	8	-
60	3月1日	2月29日	3.4	17.3	1.4	5.1	40.3	-	3.5	-	1	2	88
61	3月2日	3月1日	-	30	0.2	-	0.2	1.5	-	-	-	7	-

表 3: 閏日のデータを削除した後の観測データ

	平年	閏年	1956	1957	1968	1969	1970	1971	1972	2000	2001	2002	2003
59	2月28日	2月28日	9.5	-	1.8	6	-	-	11.5	-	12	8	-
60	3月1日	3月1日	-	17.3	1.4	5.1	0.2	-	3.5	-	1	2	88
61	3月2日	3月2日	-	30	0.2	-	0.3	1.5	-	-	-	7	-

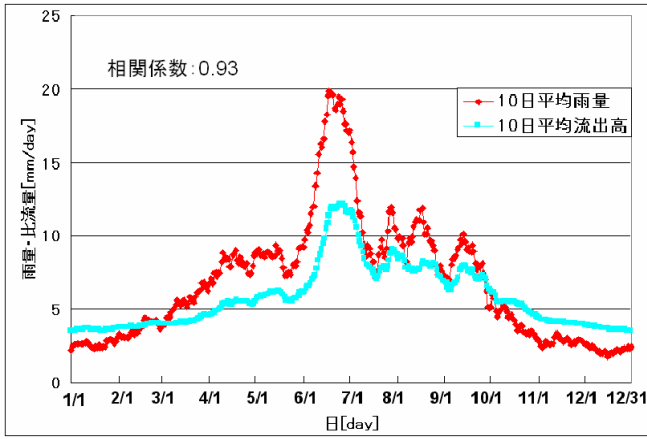


図 2: 肝属川流域の10日平均雨量・10日平均流出量

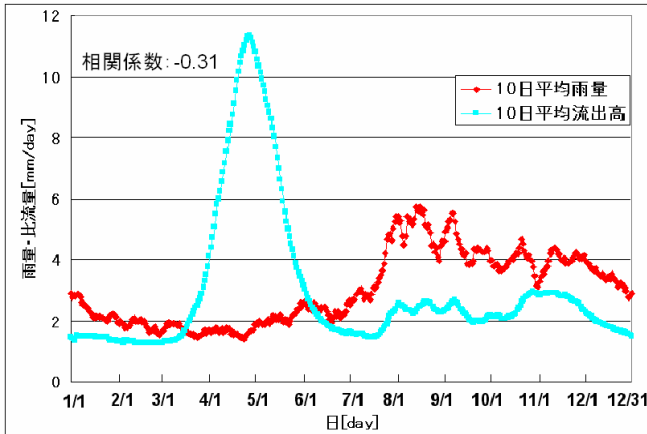


図 3: 天塩川流域の10日平均雨量・10日平均流出高

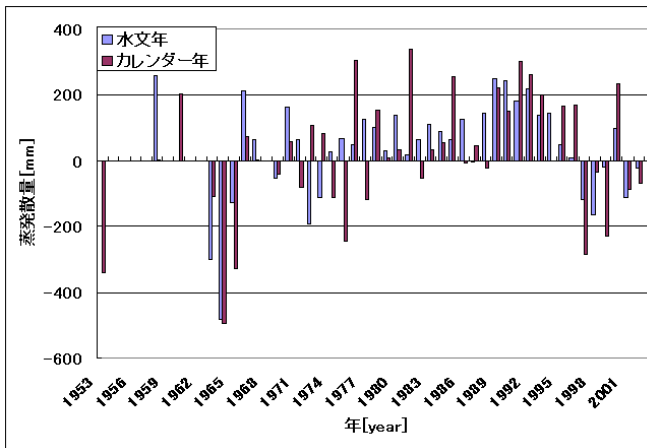


図 4: 天塩川流域の蒸発散量の集計方法比較

2.2.6 水文年利用による水収支計算への影響

ここでは、2.2.5にて決定した水文年による集計方法が、カレンダー年による集計方法使用時と比べてときの水収支計算に与える影響を説明する。2.2.1から2.2.5までで水収支方程式の雨量 P 、流出高 q の値が求まっている。雨量 P から流出高 q を引くことで、未知数である蒸発散量 ET と貯留量 Δs の和が求まる。

$ET + \Delta s$ の値を代表流域の天塩川流域について解析対象年分取ったものが図 4のグラフである。縦軸に年間の累積蒸発散量と累積貯留量の和をとり、横軸に観測年をとることで、観測対象年分の年蒸発散量と年貯留量を水文年による集計法とカレンダー年による集計法で比較し、水文年利用の影響を評価する。

このとき、水文年による集計の標準偏差 H_s がカレンダー年による集計の標準偏差 C_s より小さいのならば、その流域で水文年を用いることで良い影響があると考えられる。逆に、水文年による集計とカレンダー年によるの標準偏差にあまり差が見られないようならば、水文年を利用することの影響が小さいといえる。そこで、 C_s を H_s で除し、水文年利用の影響の指標とする。

3. 結果と考察

研究対象とした15箇所の河川流域について、2.2.5、2.2.6にて説明した手法を用いて行った解析結果を表 4に示す。

図 5の水文年の開始期の特徴から研究対象とした流域を大きく4つに分類することができる。分類Aの肝属川、遠賀川、渡川、那賀川、新宮川流域は、図 6,7をみると、12月から1月にかけて水文年の開始期をもち、積雪による影響は見られない地域とわかる。これらの流域では、水文年の開始期がカレンダー年の開始期とほぼ変わらないため、水文年による集計方法を用いることでの水収支計算への影響はほとんどない。

表 4: 対象流域の解析結果

対象流域	相関係数	積雪による比流量への影響の有無	水文年開始期	水文年による年蒸発散量の平均値	カレンダー年による年蒸発散量の平均	水文年の蒸発散量の標準偏差 H_s	カレンダー年の蒸発散量の標準偏差 C_s	C_s/H_s
肝属川	0.93	影響なし	1月2日	377.8	377.7	266.6	264.1	0.991
遠賀川	0.95	影響なし	12月14日	913.1	919.7	212.6	213.2	1.003
渡川	0.98	影響なし	12月18日	993.3	990.7	259.4	254.9	0.983
那賀川	0.96	影響なし	1月13日	980.3	984.4	355.4	345.5	0.972
斐伊川	0.60	影響が少ない	11月8日	1290.6	1304.2	277.1	265.4	0.958
由良川	0.66	影響が少ない	8月8日	905.2	901.7	160.1	155.0	0.968
新宮川	0.96	影響なし	12月30日	665.7	665.0	526.9	525.4	0.997
狩野川	0.92	影響なし	2月9日	386.9	365.0	181.4	178.8	0.986
久慈川	0.86	影響なし	2月2日	543.1	547.0	95.3	101.3	1.063
庄川	-0.33	影響あり	11月5日	1293.2	1290.3	448.3	463.6	1.034
阿賀野川	-0.34	影響あり	10月20日	-273.3	-279.3	190.9	180.6	0.946
名取川	0.91	影響なし	2月5日	773.0	760.4	246.3	248.5	1.009
米代川	-0.12	影響あり	6月12日	592.5	584.2	165.9	217.7	1.312
鶴川	0.29	影響あり	6月22日	351.1	310.5	273.1	302.6	1.108
天塩川	-0.31	影響あり	7月14日	44.9	23.7	153.6	178.4	1.161

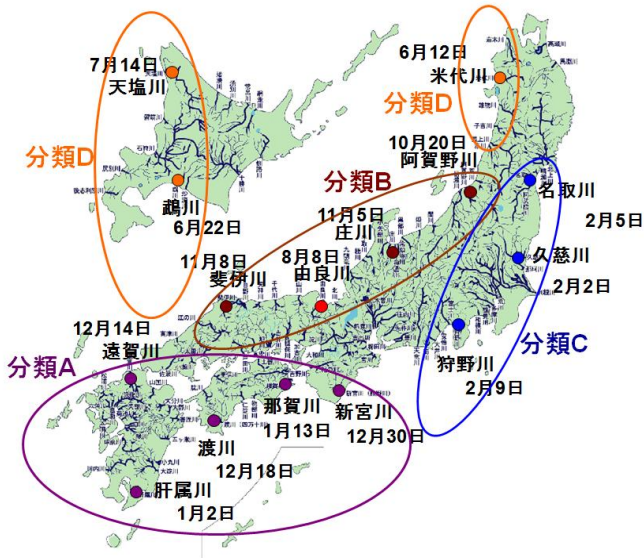


図 5: 各流域の水文年の開始期

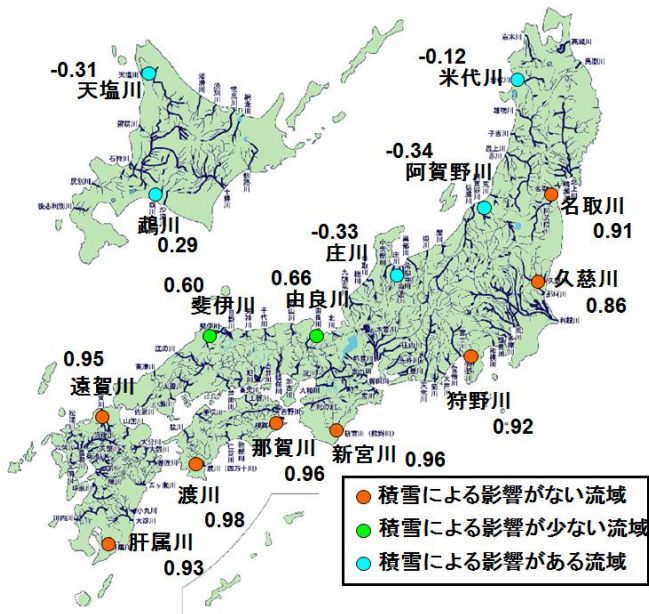


図 6: 各流域の流出高データへの雪の影響有無

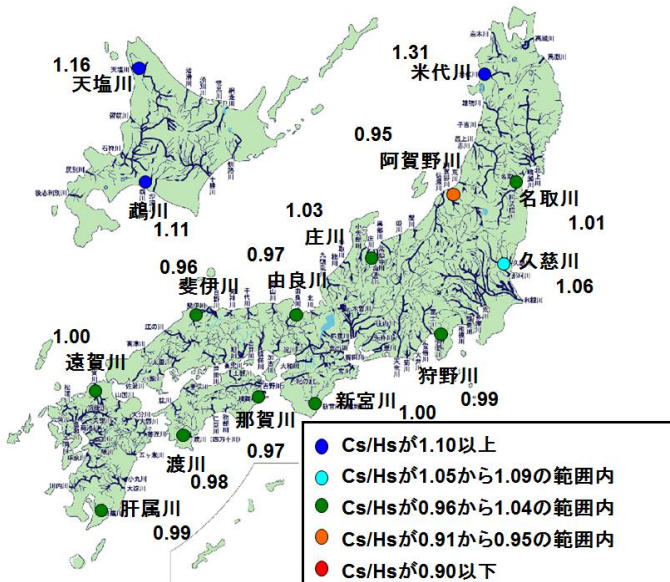


図 7: 各流域の水文年利用による影響

分類Cの狩野川, 久慈川, 名取川流域は, 2月の中旬に水文年の開始期をもち, 雪の影響は受けない傾向となった. 分類Aと同様に, これらの流域についても水文年を用いることの影響はほとんど見られなかった. 分類Bの斐伊川, 由良川, 庄川, 阿賀野川流域は, 10月11月に水文年の開始期をもち, 積雪による影響は庄川, 阿賀野川流域が受け, 斐伊川, 由良川流域が若干受ける結果となった. これらの地域は, 水文年を用いることによる水収支計算への影響は小さい結果となった. 積雪地域であるにもかかわらず, 水文年考慮による影響が小さい結果となった庄川, 阿賀野川流域は更なる解析が必要であり, これらの原因究明が今後の課題となった. 分類Dの米代川, 鶴川, 天塩川流域は, 6月7月に水文年の開始期をもち, 積雪の影響を受ける傾向となった. 図7から, これらの流域は水文年を考慮することで, 収支計算に良い影響を与える結果となった.

4. 結論

- 今回研究した 15 箇所の河川流域の水文年の開始期が大きく 4 つに分類でき, 地域的な特徴を見出すことが出来た.
- 水文年の開始期が 6 月, 7 月となった 3 つの河川流域, 米代川流域, 鶴川流域, 天塩川流域で水文年の有用性が高く算出された.
- 水文年開始期より前の時期の標準偏差が高いと, 貯留量 s が直前で増加してしまうため, 水文年の開始期としては相応しくない.
- 阿賀野川流域は積雪の影響があるにもかかわらず, 水文年よりカレンダー一年による集計の方が, 標準偏差が小さい結果になった.

5. 今後の展望

- 4つの分類に分けた境界上に存在する河川流域の水文年を調べることで, この分類の範囲がどこまで及ぶのか, または新たな分類が必要なのかを検討することが出来れば, さらに日本の水文年の傾向を把握することが出来る.
- 年蒸発散量を算出する際, 雨量データ, 比流量データに欠測値が含まれる. この欠測値を何らかの方法で補間することが出来れば, カレンダー一年による集計と水文年による集計の違いがより明らかになる.

6. 参考文献

- 森和紀 (2007) 「地球温暖化からみた水文環境の変化」地学雑誌116(1) pp52-pp61
 高橋裕 (2008) 『河川工学』東京大学出版会
 高遠節夫, 齊藤斎 (2005) 『確率統計』大日本図書