水文・水資源学会誌
J. Japan Soc. Hydrol. & Water Resour.
Vol. 14, No. 2 (2001) pp. 131-141

水文レジムによる河川流域区分

Classification of catchments by hydrologic regimes

葛葉泰久*

Yasuhisa KUZUHA

友杉邦雄**

Kunio TOMOSUGI

岸井徳雄*・早野美智子*

Tokuo KISHII・Michiko HAYANO

(防災科学技術研究所)

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

(京都大学防災研究所)

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

(防災科学技術研究所)

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

Classifying river basins by a hydrologic regime that is valuable information for analysis of flood and drought was carried out. Japanese river basins were classified to six hydrologic regimes by general survey of annual change of monthly discharge. Then, relationships between mean annual floods (MAF) per area and catchment area, and between the coefficient of variation (CV) of maximum annual floods and catchment area were analysed, and validity of the classification and the possibility of this kind of analysis, that is rainfall-runoff analysis by MAF, CV, and catchment area, were examined. As a result, the classification was verified, but it was suggested that more accurate analysis is undertaken by using additional information, for example regions to which catchments belong, as well as regimes.

Key Words : Hydrologic regime, Runoff, Catchment, Annual maximum floods, Coefficient of variation

洪水、渇水、双方に関する研究を行う際に必要な、河川流域のクラス分けを試みた。流量年表を用い、月流量の年内変化を調べて、全国の流域を大きく分けて6つのレジムにクラス分けした。次に、年最大流量の平均値、変動係数と流域面積との関係による解析を行い、クラス分けの妥当性を検証するとともに、レジム分けをともなった年最大流量と流域面積の関係を介した降雨-流出過程に関する研究の可能性の検討を行った。その結果、レジム分けは妥当であるが、河川流域の属する地方、その他の情報を同時に用いた方がより正確な解析が行えることが示唆された。

キーワード：水文レジム、流出、流域、年最大流量、変動係数

I. 序 論

地球全体から見るとその占める面積が決して大きいとは言えない我が国国土ではあるが、南北・東西に弧状に伸びたその形状、国土のかんりの部分を占める山地の影響、暖流・寒流の影響、季節風の影響等により、我が国は様々な気候区分に分割される(図-1)。それらの気候特性、また地形学的特性等が水文素過程に大きく影響するので、「降雨-流出特性」の検討を行う際に、河川流域をその気候特

性・地形学的特性等を反映した水文学的特性により、いくつかのレジムにクラス分けすることが有効となる場合がある。

岩佐(1979)には、

- 1) 河川の特性を流量の関数として表すことをレジム説という。
- 2) 元々河川のもつすべての物理現象の記述であると定義されるが、現在は狭義に解釈されることが多い。

とあるが、本論文では「レジム」の意味を広義に解

*防災科学技術研究所 〒305-0006 つくば市天王台3-1

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 3-1, tsukuba, 305-0006, Japan

**京都大学防災研究所 〒611-0011 宇治市五ヶ庄

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Gokasho, Uji, 611-0011, Japan

図-1 日本の気候区分(渡辺(1973)等を参考に作成)
Fgi. 1 Japanese climatic classification

釈する。ただし、各河川流域での流出特性が、「すべての物理現象を反映した結果」であると考え、特に流量の年内変動に着目し、日本国内の流域をいくつかのレジムにクラス分けする。なお、本来、「河川」を分類するのであるが、「河川の特徴」を、「それを含む流域の特徴」と考えて、本論文では、Kresser(1981)に関する記述以外、「河川流域」という用語を用いる。

本論文で、河川流域のレジム分類をしようとした動機は、1) 洪水災害を対象とした、降雨—流出過程の理解に必要である、2) 渇水災害を対象とした、少雨の分布特性の検討に必要である、の二つであるが、ここでそれらに関して概説する。

近年、流出現象における「スケール問題」の一つとして、流域における年最大流量の平均値と流域面積の関係や年最大流量の変動係数と流域面積の関係を介した流出現象のスケール問題のアプローチによる研究がいくつか行われている(例えば、Smith, 1992; Gupta and Dawdy, 1995; Blöschl and Sivapalan, 1997; Robinson and Sivapalan, 1997)。特に「年最大流量の変動係数—流域面積関係」において、その関係の根拠について色々な解釈がなされている。例えばSmith(1992)は、「変動係数—流域面積」関係(後に示す図-9と類似の図、ただし対象としているのは米国、central Appalachian region)について、「ある流域面積以下では変動係数が増加する傾向にあり、それ以上では減少する」ことを示し、その解釈を二つの仮説で説明している。一方、Blöschl and Sivapalan(1997)は、Austriaの河川流域を対象に解析を行い、「一見複雑なそれらの関係は、河川(流域)をいくつ

かのレジムに分類して考え、それぞれのレジムによる「変動係数—流域面積関係」の集合と考えるとわかりやすい」と結論づけている。この解析において、Kresser(1981)による水文レジムの概念が使用されている。著者らもEagleson(1971, 1972)の古典的モデル利用し、それらの関係をもとに、降雨—流出関係の理解をすることを目的とした解析的研究を行っているが、Blöschl and Sivapalan(1997)と同様、実流域データをもとにした解析も必要と考えている。そのため、それにさきがけ、河川流域のレジム分類をすることが必要と考えた。これが上述の動機1)にあたる。

また、著者らは渇水災害に関する研究として、少雨の空間分布特性に関する考察(葛葉ら, 2001)を行う。そこでは平均年降水量の分布特性とともに、「降水量」の変動係数による解析が行われているが、「降水量」として「年降水量」だけでなく、「夏期の降水量」、「8～10月降水量」等、対象とする地域における、「大きな流量の原因となる降水量」が用いられる。その際、対象としている地域で、「どの季節の流量が卓越しているか」という情報が必要となることは言うまでもない。これが、動機2)にあたる。

上述のように、河川流域をいくつかのレジムに分けて「降雨—流出関係」を論ずることは、洪水災害、渇水災害双方にとって、その解析をする上で一つの有益な手段となりうる。このように、洪水災害・災害の両方を視野に入れて、降水量、地形等の自然要因を反映した地域の類別化を行おうとした類似の研究として、角屋らによる報告(日本農業総合研究所, 1984)があげられる。また、日本の河川の個別的特徴を詳細に調べ、また、地質構造を同じくする地域ごとの地域性についても言及した研究として、小出(1970, 1972)があげられる。他にも、数々の河川類別化に関する研究はあるが、本論文では、上述の動機1) 2)により、その目的に合致した分類を試みるものである。

なお、年最大流量—流域面積の解析において、Blöschl and Sivapalan(1997)、葛葉ら(2000)、また本論文においても、実際は「年最大流量/流域面積」(次元は比流量)を用いており、洪水比流量に関する研究についてはCreager(1944)など、また我が国においても石原・佐藤(1975)、角屋・永井(1979)、日本農業総合研究所(1984)など、多くの成果がある。また、それらを「地域別」に評価したものとしては、

上記の角屋・永井(1979)以外にも、建設省土木研究所(1976)などがある。本論文でも、後に、各レジムにおける、「年最大流量の変動係数—流域面積」とともに、「平均年最大流量—流域面積」の形状に関して言及しているが、その目的は、(既往最大洪水、可能最大洪水の)包絡線を求める／近似式を求める等ではなく、レジムの分割の妥当性を検証することである。すなわち、レジムにより分割することにより、非常に複雑な形状を示すそれらの関係(図-9)が、(近似式を定義できるほど)明確な関係を持つようになったかどうかを検証することである。

II. 手法と資料

レジム分類、また後述する年最大流量を用いた検討の双方で、流量年表(建設省河川局編)を用いた。まず、レジム分類について述べる。流量年表を用い、昭和50年からの10年分のデータを平均し、まず12ヶ月分の平均月流量を求めた。ただし、データの信頼性の有無により、また流量観測点の変化により、必ずしもすべての点で同一年のデータを用いたとは限らない。正確には「昭和50年～昭和62年のデータのうち、可能な限り10年分のデータを用いた。流域によっては10年未満のデータを用いた場合もある」である。最新のデータを用いなかった理由は以下のとおりである。すなわち、後述する「年最大流量を用いた解析」では流量を「自然河川での流量」であると仮定し、またそれらを含む河川の様相の変化を考慮していない。Eagleson(1971, 1972)をはじめとする、この種の、年最大流量を用いた既往の研究でもそれは同様である。しかし実際には河川の様相は次第に変わってきていることが考えられる。そこで、月流量(の平均値)を求めるにあたり、「年最大流量を用いた解析」において用いたデータの、(時間的に)ほぼ中心に位置する昭和50年代のデータを用いた。それぞれの流域において、まず月流量の平均値を求め、その12ヶ月の変化の様相を見た。

Kresser(1981)はAustriaの河川を以下のようにクラス分けしている。すなわち、

- ①Glacier dominated streams
- ②Snow and glacier dominated streams
- ③Snow dominated mountain streams
- ④Streams from prealpine foothills and hilly terrain
- ⑤Groundwater dominated lowland streams
- ⑥Large rivers

である。我が国の場合、流域によって、冬季の降雪、梅雨等の雨期、台風等が流域の性質を決定していると思われる。そこでそれらの影響について、月流量の年内変化を見ながら検討し、クラス分けを行った。

次に「年最大流量を用いた解析」について述べる。これも流量年表を用いた。各流域について、流量年表に記載されている毎年の年最大流量を用い、その平均値を流域面積(Area)で割った値(Specific Mean Annual Flood; SMAF), 変動係数(CV)を計算した。そして「CV-Area関係」, 「SMAF-Area関係」を求めた。ここで用いたデータは、昭和38年～平成8年のものである。ただし、20年分以上のデータがある流域のみを解析対象流域とした。

なお、これ以降、流量観測点名によって流域を表し、水系名、河川名を併記することにする。

III. レジムクラス分け

IIで述べたような手法で河川流域の区分を行った。その結果、大きく分けて6種類のレジム(表-1)に分割することができた。以下、それぞれについて述べる。

1. レジムH

北海道内流域の流量の月変化はほぼ全域にわたって類似の特徴を示す。図-2は石狩大橋(石狩川水系石狩川)における平均月流量の年内変化を表した図である。ただし、図の縦軸はそれらの年合計値に対する割合(パーセント表示)である。このように、北海道内の流域のほとんどは(後述する3つの流域を除く流域で)春期に年最大月流量を示す。これは、冬季の降雪の融雪流出が多いことを示している。このように春期に流量が多い流域は、東北地方日本海側、北陸地方をはじめ、他の地域にも存在するが、北海道の多くの流域で春期の流量の年流量に対する割合が他の地方の流域と比べてかなり大きいこと、また気候区分を考慮して、北海道内で春期の融雪流出が卓越している流域のみをレジムHに属すとした。ただし、レジムHには、3、4、5月の3ヶ月流量が年内の3ヶ月流量の最大値をとるものと、4、5、6月のものが最大値をとるものがある。なお、西越(石狩川水系千歳川)、弟子屈(釧路川水系釧路川)では図-3のように春期の流量がそれほど目立ったものになっておらず、音更(十勝川水系音更川)では夏期～秋期の流量が春期より多くなる。

表一 河川(流域)のレジム分類(河川名, 観測点名が年によって異なる場合は, 原則として平成8年版流量年表に従った)

Table 1 Regime classification for Japanese catchments. Catchments are classified into six regimes.

H	<p>[北海道] 九十九橋(天塩, 天塩) 名寄大橋(天塩, 天塩) 美深橋(天塩, 天塩) 誉平(天塩, 天塩) 円山(天塩, 天塩) 士別(天塩, 釧路) 真幌別(天塩, 名寄) 大和田(留萌, 留萌) 中愛別(石狩, 石狩) 旭橋(石狩, 石狩) 伊納(石狩, 石狩) 曉橋(石狩, 忠別) 西神楽(石狩, 美瑛) 納内(石狩, 石狩) 橋本町(石狩, 石狩) 多度志(石狩, 雨竜) 赤平(石狩, 空知) 月形(石狩, 石狩) 石狩大橋(石狩, 石狩) 円山(石狩, 夕張) 清幌橋(石狩, 夕張) 石山(石狩, 豊平) 雁来(石狩, 豊平) 名駒(尻別, 尻別) 今金(後志利別, 後志利別) 鶴川河口(鶴, 鶴) 平取(沙流, 沙流) 新清橋(十勝, 十勝) 帯広(十勝, 十勝) 茂岩(十勝, 十勝) 南帯橋(十勝, 札内) 利尻(十勝, 利別) 標茶(釧路, 釧路) 美幌(網走, 網走) 本郷(網走, 網走) 置戸(常呂, 常呂) 北見(常呂, 常呂) 開盛(湧別, 湧別) 上落滑(落滑, 落滑)</p>
TN	<p>[東北] 上岩木橋(岩木, 岩木) 五所川原(岩木, 岩木) 十二所(米代, 米代) 鷹巣(米代, 米代) 米内沢(米代, 阿仁) ニッ井(米代, 米代) 川井(雄物, 役内) 柳田橋(雄物, 雄物) 安養寺(雄物, 成瀬) 雄物川橋(雄物, 雄物) 横手(雄物, 横手) 神宮寺(雄物, 雄物) 椿川(雄物, 雄物) 糖野目(最上, 最上) 西大塚(最上, 最上) 小出(最上, 最上) 宮宿(最上, 最上) 中郷(最上, 最上) 長崎(最上, 最上) 西根(最上, 寒河江) 下野(最上, 最上) 稲下(最上, 最上) 大石田(最上, 最上) 堀内(最上, 最上) 真木(最上, 鮭) 高屋(最上, 最上) 砂越(最上, 最上) 熊出(赤, 赤) 浜中(赤, 赤) 寺林(北上, 北上) 広表(北上, 和賀) 三本木橋(鳴瀬, 鳴瀬)</p> <p>[関東] 屋形原(利根, 利根)</p> <p>[北陸] 小谷(阿賀野, 阿賀) 馬下(阿賀野, 阿賀野) 岩沢(信濃, 信濃) 堀之内(信濃, 魚野) 高田(関, 関) 山本(姫, 姫) 大沢野大橋(神通, 神通) 杉原橋(神通, 井田) 大門(庄, 庄) 中島(手取, 手取) 葛籠山(荒, 荒)</p> <p>[中部] 岡島(木曽, 揖斐) 万石(木曽, 揖斐)</p> <p>[近畿] 弘原(円山, 出石)</p> <p>[中国] 若桜(千代, 八東)</p>
TP	<p>[東北] 百田(岩木, 平8) 大曲橋(雄物, 雄物, 7) 長野(雄物, 玉, 7) 二十六木橋(子吉, 子吉, 7) 鋸洗(最上, 須, 8) 剣吉(馬淵, 馬淵, 8) 船田橋(北上, 北上, 7) 明治橋(北上, 北上, 8) 紫波橋(北上, 北上, 8) 朝日橋(北上, 北上, 8) 男山(北上, 北上, 7) 桜木橋(北上, 北上, 7) 大曲橋(北上, 北上, 8) 孤禅寺(北上, 北上, 8) 大泉(北上, 北上, 8) 米谷(北上, 北上, 8) 登米(北上, 北上, 8) 倉ぞね(北上, 旧北上, 8) 荒雄(北上, 江合, 8) 涌谷(北上, 江合, 9) 野田橋(鳴瀬, 鳴瀬, 8) 名取橋(名取, 名取, 8) 広瀬橋(名取, 広瀬, 9) 船岡大橋(阿武隈, 白石, 8)</p> <p>[関東] 上福島(利根, 利根, 7) 前橋(利根, 利根, 7)</p> <p>[北陸] 南大橋(阿賀野, 日橋, 8) 山科(阿賀野, 阿賀, 8) 小千谷(信濃, 信濃, 7) 神通大橋(神通, 神通, 7) 小牧(庄, 庄, 7) 津沢(小矢部, 小矢部, 7) 埴田(梯, 梯, 12)</p> <p>[中部] 山口(木曽, 根尾, 7)</p> <p>[近畿] 保津峡(淀, 桂, 7) 山崎(揖保, 揖保, 7) 中角(九頭竜, 九頭竜, 7) 三尾野(九頭竜, 日野, 7) 深谷(九頭竜, 日野, 7) 高塚(北, 北, 7) 綾部(由良, 由良, 8) 福知山(由良, 由良, 7) 上小田(円山, 円山, 8) 府市場(円山, 円山, 7)</p> <p>[中国] 行徳(千代, 千代, 9) 袋河原(千代, 千代, 7) 小田(天神, 天神, 10) 溝口(日野, 日野, 8) 車尾(日野, 日野, 8) 木次(斐伊, 斐伊, 8) 新伊堂(斐伊, 斐伊, 8) 大津(斐伊, 斐伊, 8) 新三刀屋(斐伊, 三刀屋, 8) 高角(高津, 高津, 7)</p>
S	<p>[北海道] 音更(十勝, 音更, 9)</p> <p>[東北] 安野(北上, 猿ヶ石, 8) 落合(鳴瀬, 吉田, 10) 幡谷橋(鳴瀬, 吉田, 8) 白河(阿武隈, 阿武隈, 8) 須賀川(阿武隈, 阿武隈, 8) 阿久津(阿武隈, 阿武隈, 8) 本宮(阿武隈, 阿武隈, 8) 福島(阿武隈, 阿武隈, 8)</p> <p>[関東] 山方(久慈, 久慈, 8) 榊橋(久慈, 久慈, 8) 黒羽(那珂, 那珂, 9) 野口(那珂, 那珂, 9) 村上(利根, 吾妻, 8) 上里見(利根, 鳥, 8) 高松(利根, 鳥, 8) 岩鼻(利根, 鳥, 8) 安中(利根, 碓氷, 8) 岩井(利根, 碓氷, 8) 古戸(利根, 利根, 8) 川俣(利根, 利根, 8) 栗橋(利根, 利根, 8) 高津戸(利根, 渡良瀬, 8) 藤岡(利根, 渡良瀬, 8) 中里(利根, 巴波, 9) 乙女(利根, 思, 8) 早川田(利根, 渡良瀬, 8) 利根関宿(利根, 利根, 8) 北関宿(利根, 利根, 8) 芽吹橋(利根, 利根, 8) 取手(利根, 利根, 8) 布川(利根, 利根, 9) 平方(利根, 鬼怒, 9) 水海道(利根, 鬼怒, 9) 三谷(利根, 小貝, 8) 黒子(利根, 小貝, 8) 川又(利根, 小貝, 8) 西関宿(利根, 江戸, 9) 野田(利根, 江戸, 8) 流山(利根, 江戸, 9) 寄居(荒, 荒, 9) 大芦橋(荒, 荒, 9) 菅間(荒, 間, 9) 石原(多摩, 多摩, 9) 調布橋(多摩, 多摩, 8) 清水端(富士, 富士, 9) 北松野(富士, 富士, 9) 桃林橋(富士, 笛吹, 9)</p> <p>[北陸] 杭瀬下(信濃, 千曲, 8) 陸郷(信濃, 犀, 6) 生田(信濃, 千曲, 8) 宇奈月(黒部, 黒部, 6)</p> <p>[中部] 大仁(狩野, 狩野, 9) 本宿(狩野, 黄瀬, 9) 手越(安倍, 安倍, 8) 奈良間(安倍, 葦科, 8) 神座(大井, 大井, 8) 加茂(菊, 菊, 8) 伊那富(天竜, 天竜, 8) 伊那(天竜, 天竜, 8) 鹿島(天竜, 天竜, 7) 大居(天竜, 気田, 8) 石田(豊, 豊, 8) 当古(豊, 豊, 8) 米津(矢作, 矢作, 9) 多治見(庄内, 庄内, 8) 枇杷島(庄内, 庄内, 8) 大山(木曾, 木曾, 8) 今渡(木曾, 木曾, 8) 墨俣(木曾, 長良, 8) 高岡(鈴鹿, 鈴鹿, 8) 大仰(雲出, 雲出, 9) 両郡(櫛田, 櫛田, 8) 岩出(宮, 宮, 9)</p> <p>[近畿] 相賀(新宮, 新宮, 8) 妹背(紀, 紀, 8) 隅田(紀, 紀, 8) 橋本(紀, 紀, 8) 三谷(紀, 紀, 7) 板東(大和, 大和, 8) 王寺(大和, 大和, 7) 道明寺(大和, 石, 7) 柏原(大和, 大和, 7) 三雲(淀, 野州, 8) 野州(淀, 野州, 7) 鳥居川(淀, 瀬田, 8) 黒津(淀, 大戸, 7) 淀(淀, 宇治, 8) 島ヶ原(淀, 木津, 8) 名張(淀, 名張, 8) 加茂(淀, 木津, 8) 飯岡(淀, 木津, 8) 八幡(淀, 木津, 8) 虫生(淀, 猪名, 6) 軍行橋(淀, 猪名, 6) 岩間(由良, 土師, 7)</p> <p>[中国] 吉田(江の, 江の, 7) 南畑敷(江の, 馬洗, 7) 栗屋 No.2(江の, 江の, 7) 中深川(太田, 三條, 7) 中野(太田, 太</p>

	<p>田,7) 府中(芦田,芦田,8) 山手(芦田,芦田,8) 郷分(芦田,芦田,7) 御幸(芦田,高屋,7) 御休(吉井,吉井,8) 両国橋(小瀬,小瀬,7)</p> <p>[四国] 山之内(重信,重信,7) 表川(重信,表,6) 湯渡(重信,石手,7) 出合(重信,重信,7) 坊屋敷(肱,小田,7) 大洲(肱,肱,7) 新谷(肱,矢落,6) 大正(渡,四万十,8) 具同(渡,四万十,7) 秋田(渡,後,7) 磯ノ川(渡,中筋,7) 川口(仁淀,仁淀,8) 伊野(仁淀,仁淀,8) 深洲(物部,物部,7) 和食(那賀,那賀,8) 古庄(那賀,那賀,8) 豊永(吉野,吉野,8) 池田(吉野,吉野,8) 岩津(吉野,吉野,8) 中央橋(吉野,吉野,8) 御用橋(土器,土器,8) 常包橋(土器,土器,9)</p> <p>[九州] 川島(遠賀,遠賀,7) 日ノ出橋(遠賀,遠賀,7) 中島(遠賀,彦山,7) 宮田橋(遠賀,犬鳴,7) 牟田部(松浦,松浦,7) 裏山(本明,本明,7) 妙見橋(六角,牛津,7) 小平(筑後,筑後,7) 小洲(筑後,筑後,7) 荒瀬(筑後,筑後,7) 恵蘇ノ宿(筑後,筑後,7) 片ノ瀬(筑後,筑後,7) 瀬ノ下(筑後,筑後,7) 小ヶ瀬(筑後,玖珠,7) 船小屋(矢部,矢部,7) 分田(菊池,菊池,7) 玉名(菊池,菊池,7) 陣内(白,白,7) 代継橋(白,白,7) 中甲橋(緑,緑,7) 城南(緑,緑,7) 御船(緑,御船,7) 大六橋(緑,加勢,7) 人吉(球磨,球磨,7) 横石(球磨,球磨,7) 柳瀬(球磨,川辺,7) 吉松(川内,川内,7) 斧渡(川内,川内,6) 荒田(川内,川内,7) 俣瀬(肝属,肝属,7) 樋渡(大淀,大淀,7) 高岡(大淀,大淀,7) 柏田(大淀,大淀,7) 嵐田(大淀,本庄,7) 高城(小丸,小丸,8) 三輪(五ヶ瀬,五ヶ瀬,7) 熊田(五ヶ瀬,北,8) 番匠橋(番匠,番匠,8) 犬飼(大野,大野,8) 白滝橋(大野,大野,8) 同尻(大分,大分,7) 明礪橋(大分,大分,7) 府内大橋(大分,大分,8) 胡麻鶴(大分,七瀬,7) 新原井(山国,山国,7) 下唐原(山国,山国,7) 川上(嘉瀬,嘉瀬,8)</p>
SW	<p>[東北] 余方(名取,名取,8) 伏黒(阿武隈,阿武隈,8) 館矢間(阿武隈,阿武隈,8) 岩沼(阿武隈,阿武隈,8)</p> <p>[関東] 岩本(利根,利根,6) 八斗島(利根,利根,8) 上久屋(利根,片品,8) 亀の子橋(鶴見,鶴見,9) 船山橋(富士,釜無,7)</p> <p>[北陸] 小市(信濃,犀,6) 立ヶ花(信濃,千曲,8) 瓶岩(常願寺,常願寺,6)</p> <p>[中部] 徳倉(狩野,狩野,9) 宮ヶ瀬(天竜,天竜,7) 岩津(矢作,矢作,9) 起(木曾,木曾,8) 美濃(木曾,長良,6) 忠節(木曾,長良,8)</p> <p>[近畿] 貴志(紀,貴志,5) 船戸(紀,紀,9) 新町(淀,桂,8) 桂(淀,桂,8) 深草(淀,鴨,6) 納所(淀,桂,8) 枚方(淀,淀,8) 板波(加古,加古,6) 国包(加古,加古,6) 竜野(揖保,揖保,5) 上川原(揖保,揖保,8)</p> <p>[中国] 三次(江の,西城,6) 尾関山(江の,江の,7) 都賀(江の,江の,6) 川平(江の,江の,7) 新橋(佐波,佐波,6) 島地(佐波,島地,6) 加計(太田,太田,7) 飯室(太田,太田,7) 矢口第1(太田,太田,6) 日羽(高梁,高梁,7) 牧山(旭,旭,8) 久木(吉井,吉井,8) 湯郷(吉井,吉野,8) 岩戸(吉井,吉井,8)</p> <p>[九州] 高良橋(肝属,肝属,6)</p>
C	<p>[北海道] 西越(石狩,千歳) 弟子屈(釧路,釧路)</p> <p>[東北] 和瀬(北上,旧北上)</p> <p>[北陸] 板井(信濃,中之口) 荒町(信濃,信濃) 長江(小矢部,小矢部)</p> <p>[四国] 旧吉野川(吉野,旧吉野)</p>

図一2 平均月流量の年内変化(レジムH)

Fig. 2 Monthly variability of discharge (Regime H). Graph shows mean monthly flows as percentage of annual flow.

図一3 平均月流量の年内変化(レジムC)

Fig. 3 Monthly variability of discharge (Regime C)

2. レジムTN

東北地方の日本海側では、冬季に降水量が多い。東北地方東部では冬に雪が少なく、西部では夏冬二つの降水の極大があると言われている。ここでは東部、西部にかかわらず、3, 4, 5月または4, 5,

6月の3ヶ月流量が12個の3ヶ月流量のうち最大になり、かつ年流量の概ね40%を超える地域をそれぞれレジムTNとした。‘40%’は、東北地方西部の流域がレジムTNに、東部の流域(レジムSに属するものを除く)がレジムTPに属するように選んだ。よって

図-4 平均月流量の年内変化(レジムTN)

Fig. 4 Monthly variability of discharge (Regime TN)

東北地方に限れば、レジムTNに属す流域は、寺林(北上川水系北上川)、広表(北上川水系和賀川)を除けばすべて南北に走る脊梁山脈帯の西部に位置する。図-4に、レジムTNの例として、上岩木橋(岩木川水系岩木川)での月流量の年変化をあげる。

3. レジムTP

3, 4, 5月または4, 5, 6月の3ヶ月流量が12個の3ヶ月流量のうち最大にはなるが、夏期～秋期の流量も十分に大きい流域をレジムTPに属とした。このレジムに属す流域の特徴は、月流量に春期・夏秋期、二度のピークが見られることである。具体的には、TNと異なり、春期の3ヶ月流量が年流量の40%未満になる場合とした。図-5は、レジムTPに属す、大曲橋(北上川水系北上川)での月流量の年変化を示した図である。

のちに、4章以降で年最大流量の平均値、変動係数を用いた検討を行う際、レジムTN, TPは一括して扱う。また、例えば夏秋期において8, 9, 10月

図-5 平均月流量の年内変化(レジムTP)

Fig. 5 Monthly variability of discharge (Regime TP)

の3ヶ月流量が多い場合、レジムTP9等とするなど、TPをさらに細分化した。あえて、TNとTPを分けた理由、TPを細分化した理由はいずれも、少雨の空間分析に関する解析を行う際に必要な情報になり得る(葛葉ら, 2001)からである。なお、例えば4, 5, 6月の3ヶ月流量と6, 7, 8月の3ヶ月流量が多い場合、双方に6月の月流量が含まれるので、TP7とするのに問題があると考えたが、そういう場合や、夏秋期に明らかな(3ヶ月流量の)ピークを持たない場合など、細分化が困難な流域を、すべてTP7に属すとした。ただし、貴志(紀の川水系貴志川)、竜野(揖保川水系揖保川)については、4, 5, 6月の3ヶ月流量が多いものの、それぞれ6月、9月が最大月流量を示す月であったため、TPには入れず、後述するSWに属すとした。

4. レジムS

春期以外に月流量が大きく、12月, 1, 2, 3, 4, 5月(冬春期)の半年流量が年流量の40%を超えない流域をレジムSに属することとした。ここでも、3ヶ月流量が最大となる月により、S7等のようにレジムの細分化を行った。

九州地方は気候区分としては瀬戸内、北九州、南海に分割される(渡辺, 1973)が、ほとんどの流域がレジムS7に属す。図-6は中島(遠賀川水系彦山川)における流量の年内変化を示した図であるが、このように九州地方の多くの流域では7月を中心に左右対称に近い分布形状を示す。また、四国地方の気候区分は瀬戸内と南海に分けられる。気候区分南海に属す四国地方の流域の特徴として、図-7の伊野(仁淀川水系仁淀川)のように、9月に月流量の最大値を示し、9月と10月に段差があることがあ

図-6 平均月流量の年内変化(レジムS, 中島)

Fig. 6 Monthly variability of discharge (Regime S, at Nakashima)

図一七 平均月流量の年内変化(レジムS, 伊野)
Fig. 7 Monthly variability of discharge (Regime S, at Ino)

れる。その他の地方に関しても、6月等の夏の早い時期に月流量の最大値を持つ地域と、9月を中心とした遅い夏期～秋期に月流量の最大値を持つ地域があるものの、もともと我が国ではこれらの季節に雨期を迎える地域が多いので、多くの流域がこのレジムS、または次で述べるレジムSWに属す。

5. レジムSW

春期以外に月流量が大きい地域の冬春期半年流量は、多くの流域で、年流量の30%～40%程度になる。そこで、レジムSと類似であるが、冬春期流量が年流量の40%を超える流域を、レジムSWに属することとした。冬季にある程度の降雪があり、春期に流量が大きくなるが、春期3ヶ月流量が極値をとらない流域はここに含まれる。なお、本論文の4章以降では、レジムS、SWを区別せずに検討を行う。それにもかかわらず、ここでレジムS、SWを分割したのは、レジムTN、TPの場合と同じく、少雨の空間分布特性解析のためである。図一八に、レジム

図一八 平均月流量の年内変化(レジムSW)
Fig. 8 Monthly variability of discharge (Regime SW)

SWに属す、桂(淀川水系桂川)での、月流量の年内変化を示す。

6. レジムC

流量の大小にかかわらず、月流量が年間をとおりあまり変化しない流域を、レジムCに属すとした。図一三は西越(石狩川水系千歳川)の例である。

以上のように、対象河川流域を大きく分けて6つのレジムにクラス分けした。詳細については各レジムと流域名の対照表(表一)を参照されたい。この表で例えばレジムTPの欄に「保津峡(淀, 桂, 7)」とあるのは、「淀川水系桂川の保津峡がTP7に属す」ということを表している。

IV. CV-Area関係とSMAF-Area関係

本章では、CV・SMAFと流域面積の関係の議論にⅢで求めたレジム分けを適用することを試みる。その目的は以下のとおりである。すなわち、

- 1) Ⅲで行ったレジム分けの妥当性を検証する。比流量に関する多くの研究(例えば角屋・永井, 1979), 建設省資料(建設省河川局治水課, 1972)などの例からも、レジム分けが適当であれば、SMAFが流域面積の増加に従って減少する様子が(図一九よりより鮮明に)あらわれるはずである。
- 2) 著者らは年最大流量と流域面積を用いた「降雨一流出関係」の解析を行っている(葛葉ら, 2000)が、次のステップとして、レジムによるクラス分けを導入した詳細な検討を行う。そこで、ここでは簡単な検討を行って、その可能性、つまりレジム分けを導入した「CV・SMAFと流域面積(Area)の関係解析」の妥当性、可能性を確認する。図一九の「CV-流域面積関係」は非常に複雑であるが、例えば、Blöschl and Sivapalan(1997)の理論が正しく、その目的にあったレジム分けをしていれば、「CVの流域面積に対する減少傾向」など、レジム分けによってなんらかの特徴が見えてくるはずである。

まず、Ⅱで述べたような方法で求めた「SMAF-Area関係」と「CV-Area関係」を図一九に示す。他国の流域を対象とした同様の図(例えばSmith, 1992; Blöschl and Sivapalan, 1997)と比較した場合、1) SMAFは流域面積増加にともなって減少する傾向がある。2) CVはあるthreshold(Smith(1992), Blöschl and Sivapalan(1997)によると流域面積100km²程度、ここでは数100km²程度)より流域面積が小さい場

図-9 SMAF-Area関係とCV-Area関係：解析対象流域全部

Fig. 9 Mean of maximum annual floods per unit area (specific mean annual floods; SMAF) and coefficient of variation (CV) for all available catchments in Japan plotted versus catchment area

合には増加傾向、それ以上では減少傾向があるなど、類似の特徴を持った図となっている。しかし、例えば「CV-Area曲線」によって「降雨-流出関係」の関連を調べようとするなら、これらの図とも、その意味するところが不明確である。そこで、ここにレジムの概念を導入し、解析を行うこととする。

そこでまず、融雪流出が卓越している流域を分離することを試みる。図-10はレジムHに属す流域のみを対象とし、「SMAF-Area関係」と「CV-Area関係」をプロットした図である。両図とも右下がりの傾向を持つことが見て取れるが、さらに明確な傾向を見るために、レジムHのうち、石狩川水系に属す流域と天塩川水系に属す流域に対する点に、それぞれ●と×を上書きした。水系ごとの傾向を見ると、よりいっそう面積に対してCV, SMAFが減少する様子がはっきりする。Eagleson(1972), 葛葉ら(2000)を参照すると、源流から下流まで降雨分布に関するパラメータ, kinematic waveモデルに関するパラメータが同じと仮定するなら、一つの水系に属する流域のSMAFからなる「SMAF-Area曲線」

図-10 SMAF-Area関係とCV-Area関係：レジムH

Fig. 10 SMAF and CV plotted versus catchment area (Regime H)

は一本の曲線で表されるはずであるが、実際にはそれらのパラメータが水系内で一定の値をとるわけではない、すなわち流域がhomogeneousではないので、一本の曲線を描くことは希である。しかし、石狩川水系、天塩川水系に関するそれぞれの関係を見ることにより、レジムHの大まかな特徴をとらえることができる。図中にそれぞれの水系に対する近似曲線を示したが、これらをプロットした点は水系ごとにほぼ一つの曲線上にあるといえる。これらの石狩川水系、天塩川水系に対する曲線、また他の水系に対する曲線の集合として、レジムHに対する図-10が描けると考えられる。

つぎに、レジムHと同じく融雪流出が卓越していると考えられるレジムTNとTPを取り出してプロットした図を示す(図-11)。図中、●で示した点は、レジムTN, TPのうち、東北地方の流域に対する点であり、図中に、近似曲線をひいた。これはTN, TPを一様に取り扱い、また図-10のように水系ごとのプロットを行ったものではないが、レジムHの場合と同じく、この曲線はレジムTN, TPにおける、「SMAF-Area関係」、「CV-Area関係」の特徴を表しているものと考えられる。レジムTN, TPはレジムHと同じく春期に月最大流量を示す、融雪流出が

図-11 SMAF-Area関係とCV-Area関係：レジムTN, TP
Fig. 11 SMAF and CV plotted versus catchment area (Regime TN and TP)

卓越するレジムであり、よって、その「SMAF-Area関係」「CV-Area関係」はレジムHのそれと類似している。ただし、レジムHとレジムTN, TP、とりわけ東北地方を対象とした図中の近似曲線を比較すると、後者の方が、よりCVが小さく、SMAFが大きいこと、すなわち北海道の流域の方が(比流量次元の)年最大流量が小さく、その変動が大きいことがわかる。また、レジムTN, TPの中では、東北地方におけるSMAFが、特に流域面積1000km²程度の流域で比較的小さいことがわかる。

図-12は、レジムS、レジムSWに属す流域の「SMAF-Area関係」「CV-Area関係」をプロットしたものである。本研究で対象としている流域のうち、レジムH, TN, TPを除いた他のほとんどの流域はレジムS, SWに属すが、これらの流域は「春期以外に月流量の最大値を示す」という特徴を持つ流域で、それらは日本全国に存在するので、これらの関係図が複雑な形状を示すのは当然のことである。

ここで、レジムの概念に地域性を加えて、それらの関係を眺めてみる。図-13、図-14はそれぞれレジムS, SWに属す流域のうち、我が国南西部に位置する九州地方、四国地方の流域での「SMAF-Area関係」「CV-Area関係」をプロットしたものである。ここで、図-13中、●は九州北中部(小出、

図-12 SMAF-Area関係とCV-Area関係：レジムS, SW
Fig. 12 SMAF and CV plotted versus catchment area (Regime S and SW)

図-13 SMAF-Area関係とCV-Area関係：レジムS, SWのうち九州地方
Fig. 13 SMAF and CV plotted versus catchment area (Regime S and SW in Kyushu region)

1970)の流域、○は南部の流域であることを示す。まず、「SMAF-Area関係」についてだが、九州北中部、南部ともに、プロットされた点のほとんどが

図-14 SMAF-Area関係とCV-Area関係：レジム S, SWのうち四国地方

Fig. 14 SMAF and CV plotted versus catchment area (Regime S and SW in Shikoku region)

直線 a, 直線 b の間に分布している。「SMAF-Area関係」をあらわす明確な近似曲線は得られていないものの、SMAFが流域面積の増加にともなって減少する傾向がはっきり見て取れる。CVについても同様に、ほとんどの点が曲線 c, 曲線 d の間に広く分布しており、同様に明確な近似曲線は得られてはいないものの、流域面積の増加にしたがって減少する関係は見取れる。なお、北海道のように同一水系の河川流域だけを取り出してプロットしても明確な近似曲線は得られなかった。正確な解析をするためにはさらに詳しい他の情報が必要と考えるが、以上のように、概ね流域面積増加に対する減少傾向は表せたと考える。

四国地方については、CVの減少傾向は見取れるものの、SMAFに関してはばらつきが大きい。しかし、四国中南部の流域だけをとると(図中の●), 興味深いことがわかる。すなわち、二つの流域を除いて、プロットした点が一本の曲線上に並ぶことである。これらの流域は同一水系に属しているわけではなく、渡川, 仁淀川, 那賀川, 吉野川水系に属している。これらの流域でのSMAFは、流域面積1000 km²程度で4.0~5.0と、かなり大きな値を示している。

以上の九州・四国地方を除いた他のレジム S, SWに属す流域に対する「SMAF-Area関係」, 「CV-Area関係」をプロットしたのが図-15である。図中, ●, △, ×はそれぞれ関東地方, 中部地方, 東北・北陸地方の流域に対応し, ○は近畿・中国地方に対応している。まず「SMAF-Area関係」を眺めてみる。明らかに地方ごとに右下がりの曲線を描いており, また中部地方の流域でSMAFが大きく, 関東地方及び東北・北陸地方で小さいことがわかる。

また, CVに関しては多少ばらつきは大きいものの, 各地方とも, 若干右下がり, すなわち流域面積の増大にしたがって減少する形状になっている。地方ごとの違いを見ると, 関東地方でCVが大きく, 東北・北陸地方, また中部地方で小さいことがわかる。

以上, レジムごとに, また, レジム S, SWでは, さらに地方ごとに細分類して「SMAF-Area関係」, 「CV-Area関係」を見てきた結果, 以下のようなことがわかった。すなわち,

- 1) レジム H, TN, TPに関しては地方, また水系ごとに細分化するとさらに傾向がはっきりするものの, 集合として見ても, SMAFの流域面積に対する減少傾向はかなりはっきり現れている。CV

図-15 SMAF-Area関係とCV-Area関係：レジム S, SWのうち九州, 四国地方以外

Fig. 15 SMAF and CV plotted versus catchment area (Regime S and SW in regions except Kyushu and Shikoku)

に関しても、SMAFほどではないが、減少傾向が見て取れる。すなわち、SMAFから判断して、レジム分けは妥当であり、またレジム分けを導入した「CV・SMAFと流域面積の関係解析」の妥当性、可能性も示されたと考える。

- 2) レジムS, SWに関しては、集合として見るならCVの傾向が明瞭ではないが、地方ごとに細分割するならその傾向がかなり明瞭になる。SMAFから判断して、このレジムわけも一応の妥当性は有していると考えが、「レジム分けを導入したCV・SMAFと流域面積の関係解析の可能性」という観点からは、本研究で行ったレジム分割に加えて、地方ごとのさらなる情報により、この種の解析が行えるという結果が示されたものと考ええる。

V. 結 論

流域年表のデータを用いて、日本の河川流域の分類を試み、結果として、日本の河川流域を、大きく分けて6つのレジムに分けた。すなわち、レジムH, TN, TP, S, SW, Cである。さらに、レジムTP, S, SWに関しては、「どの3ヶ月流量が多いか」を基準に細分化した。

つぎに、1) レジム分けの妥当性を検証するため、また、2) レジム分けによる「CV・SMAFと流域面積(Area)の関係」を介した降雨一流出過程の解析の妥当性・可能性を検証するため、「SMAF-Area関係」、「CV-Area関係」を調べた。結果として、レジムH, TN, TPに関しては、1) の妥当性、2) の妥当性・可能性が検証されたと考えるが、レジムS, SWに関しては、地域性等、追加情報がある方が「降雨一流出過程の解析」がうまくゆくことが示唆された。

また、本研究では、いわば洪水災害に関係する年最大流量を用いた検討を行ったが、レジム分類のもう一つの目的である、渇水災害に関係する、「少雨の時・空間分布特性」についても、別に検討を行う(葛葉ら, 2001)。

謝辞：有益な助言をいただいた西オーストラリア大学のProf. Sivapalanに深謝致します。またデータ整理を手伝ってくれた防災科学技術研究所の草間香さん、河野美佐江さんにも感謝する次第です。

引 用 文 献

岩佐義朗(1979)：最新河川工学, p. 60, 森北出版。

- Blöschl, G. and Sivapalan, M. (1997) : Process controls on regional flood frequency: Coefficient of variation and basin scale, *Water Resour. Res.*, **33**, pp. 2967-2980.
- Creager, W.P. and Justin, J.D. (1944) : *Engineering for Dams*, 1, Wiley.
- Eagleson, P.S. (1971) : The Stochastic kinematic wave, in *Systems Approach to Hydrology*, pp. 202-225, Water Resources Publications.
- Eagleson, P.S. (1972) : Dynamics of flood frequency, *Water Resour. Res.*, **8**, pp. 878-898.
- Gupta, V.K. and Dawdy, D.R. (1995) : Physical interpretations of regional variations in the scaling exponents of flood quantiles, *Hydrological Processes*, **9**, pp. 347-361.
- 石原安雄・佐藤基(1975)：洪水比流量に関する研究, 京都大学防災研究所年報, **18**, B, pp. 415-423.
- 角屋陸・永井明博(1979)：洪水比流量曲線へのアプローチ, 京都大学防災研究所年報, **22**, B-2, pp. 195-208.
- 建設省土木研究所(1976)：全国ダム地点地域別比流量図(1975年), 土木研究所資料第1093号。
- 建設省河川局編：流量年表, 日本河川協会。
- 建設省河川局治水課(1972)：都道府県別中小河川, 小規模河川流域面積比流量図。
- 小出博(1970)：日本の河川—自然史と社会史—, 東京大学出版会。
- 小出博(1972)：日本の河川研究, 東京大学出版会。
- Kresser, W. (1981) : Die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse in Österreich, in *Schriften des Vereines zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien*, pp. 69-97.
- 葛葉ら(2000)：平均年最大流量と流域スケール, 水工学論文集, 土木学会, **44**, pp. 7-12.
- 葛葉ら(2001)：少雨の空間分布に関する研究, 水文・水資源学会誌, **14**(2), pp. 142-150.
- 日本農業土木総合研究所(1984)：地域別河川比流量の定量化に関する調査研究報告書。
- Robinson, J.S. and Sivapalan, M. (1997) : An investigation into the physical cause of scaling and heterogeneity in regional flood frequency, *Water Resour. Res.*, **33**, pp. 1045-1059.
- Smith, J.A. (1992) : Representation of basin scale in flood peak distributions, *Water Resour. Res.*, **28**, pp. 2993-2999.
- 渡辺 光(1973)：世界地理16 日本I, pp. 61-66, 朝倉書店。
- (受付：2000年8月4日, 受理：2001年1月19日)