

11. 地質体と湧水比流量の関係性に関する一考察

Consideration of geological zones and hydrological drought of specific groundwater runoff
 ○露口耕治、大矢基弘（株四電技術コンサルタント）、寺本光伸、栢木智明（(同) スイモン LLC）

はじめに

山岳トンネルの施工による周辺水源への影響や恒常湧水量評価の他、今や、斜面災害のメカニズムに関する業務を遂行する上でも、湧水時の比流量を検討することは、重要となっている。なぜ重要なのかというと、地下水の器となる流域に分布する地質の概略的な透水性を簡易的に類推することが可能であることが挙げられる。しかしながら、湧水比流量が流域の地質構造と関連するという考え方は、虫明他（1981）により太平洋側の流域を対象として論じられているが、全国規模での実証データが無い状況である。ここでは、過去 30 年以上蓄積された全国一級河川の流量データを基に基底流量の変化の要因を分析し、全国の地質体における湧水比流量の特性について評価する。

1. 河川流量の基本的な考え方

河川工学や河川水文学における河川水の流出概念は、特異な地質（石灰岩など）が分布する流域を除けば、図 1.1 に示すように、表面流出（直接流出ともいう）成分と、中間流出成分、地下水流出成分の三成分から成り立っているものと考えられている。表面流出成分や中間流出成分が降雨後かなり早い段階で流出してしまうのに対して、地下水流出成分は降雨後比較的長い期間地下に滞留したものが河川に流出するもので、この時の安定した流量をその時期における基底流量あるいは基底流出量と呼ばれている。

この概念は、現実的な降雨に伴う沢水流量変化の実態と整合性があり、河川水の流出解析や土木工事における施工中の湧水、施工後の沢水湧水などの山地流域における地下水評価などに広く応用されている。一方、水文学における河川流量は、上記した河川工学の流出概念を基に流域の水収支で捉え、山地流域からの地下水流動量などを蒸発散量や降雨浸透による地下水位変化に伴う地下水貯留変化量を加味して論じている。

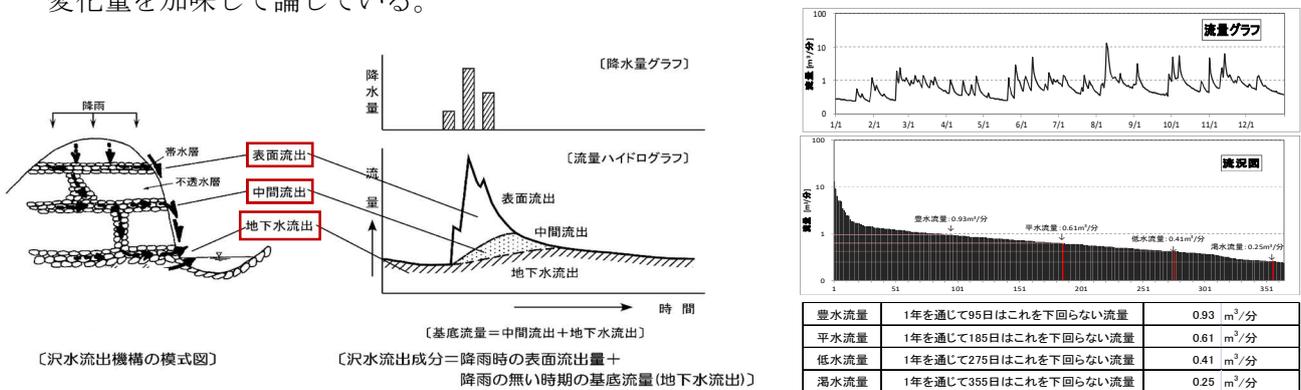


図 1.1 河川流量の流出概念図

2. 全国一級河川の流量データ

表 2.1 は、全国一級河川（109 水系）の流量データ（2012 年版）を基に、過去 30 年程度の河川流量状況（統計期間平均の最大流量、豊水流量、平水流量、低水流量、湧水流量、年平均流量の値（m³/sec））の他、流域番号、流域名、観測所名、統計期間、集水面積などの諸元が整理されている。また、図 2.1 に全国一級河川の位置を流域番号で示した。この中には中国地方 13 水系、四国地方の 8 水系が含まれている。図 1.1 にも示しているように河川工学において湧水流量とは、1 年を通じて 355 日はその流量を下回らない値であると設定されている。

3. 全国比流量分布図

図 3.1 は河川流量データから流状毎の比流量分布を整理したものである。最大比流量では九州・四国南岸・紀伊半島東部・駿河付近の主に西日本の太平洋岸で多く、甲信越から北海道に及ぶ日本海側で主に少なくなっている。一方、渇水比流量では九州及び甲信越より東の日本海側で多く、中国・四国では少なくなっており、およそ逆相関のようにみえる。

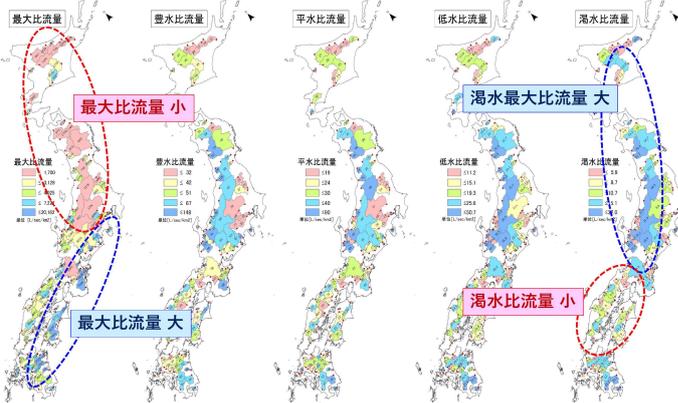


図 3.1 比流量分布図

図 3.2 は年間の降水量と最深積雪量の分布図である。降水量について、九州～駿河の太平洋岸の分布域は最大比流量の分布と相関がよいものの、甲信越から津軽に及ぶ日本海側では渇水比流量の方がよい傾向となっている。一方で中国・四国は全体に渇水比流量は少なく、降水量の多さと必ずしも渇水比流量は相関性高いとはいえない。

降水量・渇水比流量・地質分布について併記した図によると(図 3.3)、全国的に渇水比流量が多い流域と新生代の火成岩分布地域とは非常に相関がよいといえそうであり、渇水比流量は地下水の器となる地質の違い(地下水の貯留性または透水性)を反映していると考えられる。

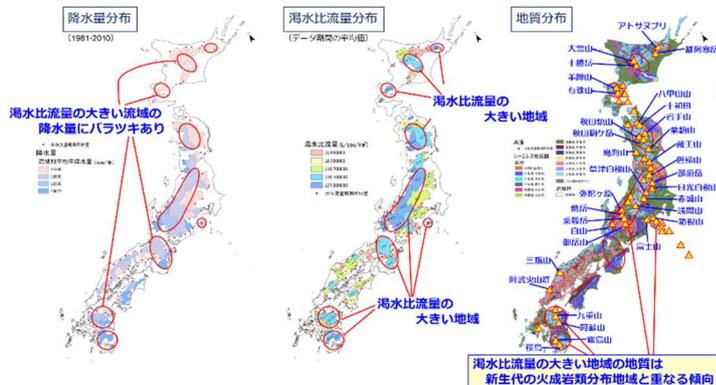


図 3.3 渇水比流量に着目した降水量と地質分布

表 2.1 河川流量データ

河川番号	河川名称	観測地点	観測期間	最大比流量	最大比流量	最大比流量	平均比流量	渇水比流量	渇水比流量	年平均比流量
1	本流	美濃川	1967 ~ 2006	2,859.0	2744.89	135.97	78.95	51.68	28.05	132.79
2	本流	信濃川	1959 ~ 2006	1,259.0	1,050.00	83.94	4.38	4.89	1.76	17.86
3	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	4,025.32	1,056.04	53.01	62.05	43.72	131.87
4	本流	荒川	1959 ~ 2006	1,259.0	1,050.00	83.94	4.38	4.89	1.76	17.86
5	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,130.41	288.87	14.31	9.74	6.27	23.89
6	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	2,000.00	553.00	25.00	15.00	10.00	35.00
7	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
8	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	4,025.32	1,056.04	53.01	62.05	43.72	131.87
9	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
10	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
11	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
12	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
13	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
14	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
15	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
16	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
17	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
18	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
19	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
20	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
21	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
22	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
23	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
24	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
25	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
26	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
27	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
28	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
29	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
30	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
31	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
32	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
33	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
34	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
35	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
36	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
37	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
38	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
39	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
40	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
41	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
42	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
43	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
44	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
45	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
46	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
47	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
48	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
49	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
50	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
51	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
52	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
53	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
54	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
55	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
56	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
57	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
58	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
59	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
60	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
61	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
62	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
63	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
64	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
65	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
66	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
67	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
68	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
69	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
70	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
71	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
72	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
73	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
74	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
75	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
76	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
77	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
78	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
79	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
80	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
81	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
82	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
83	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
84	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
85	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
86	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
87	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
88	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
89	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
90	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
91	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
92	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
93	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
94	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
95	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
96	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
97	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73	57.75	33.58	18.29	12.29	47.29
98	本流	利根川	1953 ~ 2006	3,479.0	1,720.73					

4. 降水量と流域特性との関係

河川流量変動の要因は、第一に流域に供給される降水量が上げられる。ここでは、全国一級河川の流量と降水量の関係について特に降水量の少ない時期の渇水（比）流量に着目して検討した。

図 4.1 は、上段に対象流域の降水量（P）と比流量の相関図、下段に降水量から可能蒸発散量を差し引いた（P-E）の相関図を示した図である。それぞれの相関図の配列は、左から年平均比流量、豊水比流量、渇水比流量の順で示した。

年平均比流量は、その流域からの総流出量の比流量であり、降水量と正の相関関係が明瞭に認められ、降水量が多くなれば年平均比流量も多くなっている。また、豊水比流量も概ね同様の傾向がみられる。しかしながら、渇水比流量は、降水量と相関性が無く大きくばらついている。この傾向は、対象流域の降水量から可能蒸発散量を差し引いた（P-E）との相関でも同じ傾向が読み取れる。

これらの結果から、流域からの総流出量を示す年平均比流量や豊水比流量は、降水量に起因した流出状況を示していることが想定される。しかしながら、降雨の少ない時期の渇水比流量は、降水量と異なる別の要因が加わっていると示唆される。

図 4.2 は、上段に渇水流量値と年平均流量値、豊水流量値、最大流量値の相関図である。また、下段に、比流量に換算した渇水比流量との相関を示した図である。この図の上段に示すように流量値そのものの渇水流量と年平均流量・豊水流量の関係では、非常にきれいな正の相関関係が認められ、年間の総流出量を示す平均流量が多い流域は、渇水流量も多くなることが見て取れる。

下段に渇水比流量で同じ相関を取ったところ、流量値できれいな相関が取れていた年平均流量・豊水流量が大きくばらついている。この違いは、渇水比流量が総流出量を示す平均比流量や雨の多い時期の豊水比流量と異なった要因が加わり変化していることを示唆している。一方、最大比流量と渇水比流量の関係は、ばらつきが大きい負の相関らしきものが見えてくる。これは、渇水比流量が多くなれば、最大比流量が少なくなる関係を示している。このような関係を自然現象に置き換えて具体的に考察した。

ある流域に透水係数の高い地層、亀裂の多い岩盤、厚い高透水性風化層が存在し且つ空隙の多い岩盤が分布する場合を想定する。このような流域における河川流量は、図 4.3（右）に示すように降雨に伴う地表からの浸透量（涵養量）が大きく、地下水として貯留できる器が大きいことが考えられる。したがって、降雨時のピーク流量は少なくなり、地下水貯留量が多くなることから降雨の少ない時期の基底流量は増え、降雨後の減衰曲線も緩やかになることが想定される。

一方、流域に分布する岩盤の空隙（亀裂や風化など）が少なく、透水性が低い場合を想定する。このような流域における沢水流量は、図 4.3（左）に示すように降雨に伴う地表からの浸透量（涵養量）

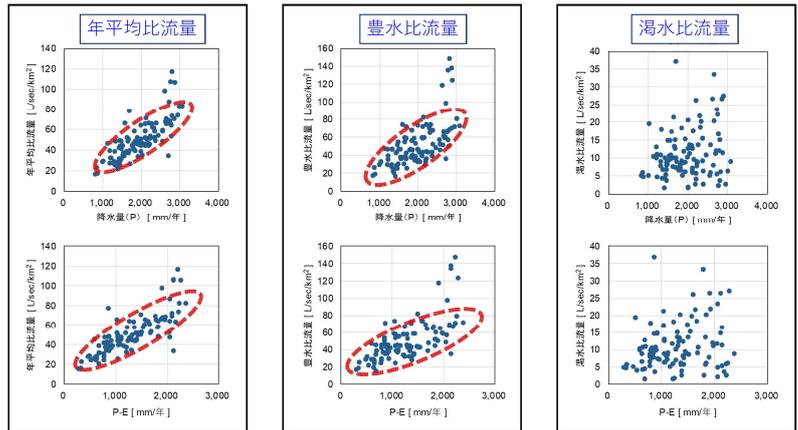


図 4.1 降水量・P-E と比流量の関係

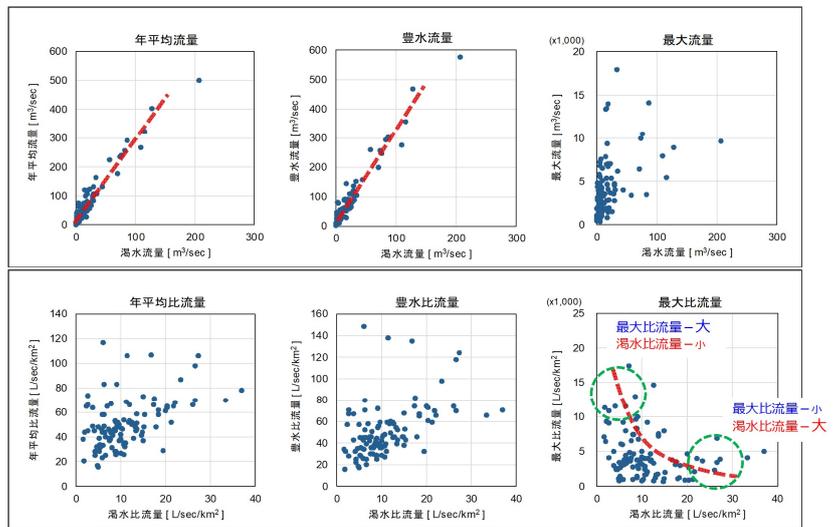


図 4.2 渇水流量・比流量との関係

が少なく、地下水として貯留できる器が小さいため、降雨時の沢水のピーク流量が極端に多くなり、降雨後の流量減衰特性も急激に減少することが想定される。そのため、降雨の少ない時期の基底流量は、少なくなることが想定される。

以上のように、湧水比流量変動を左右する要因は、降水量だけでなく流域に分布する地質が大きくかかわっている可能性が示唆される。

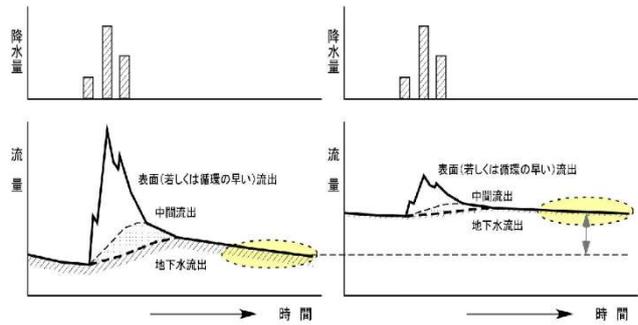


図 4.3 透水性の違いによる沢水流量変化の概念

5. 流域に分布する地質と流量（比流量）の関係

流域に分布する地質と湧水比流量の関係を整理し、地質別の湧水比流量分布とその特性について検討した。なお、使用した地質図は、20 万分の 1 シームレス地質図 V2（産総研地質調査総合センター）を用いて全国一級河川流域の地質区分を行った。また、各流域に複数の地質が混在する場合、流域内の地質割合が 50%以上の地質をその流域の代表的な地質と設定した。流域の地質区分は、シームレス地質図で区分される細かい区分を基に、地質時代の相違と水文地質的違いなどの観点から、花崗岩類（中・古生代）、堆積岩・変成岩（中・古生代）、堆積岩（第三紀）、火成岩類（第四紀）、堆積岩（第四紀）の 5 区分に分類した。

図 5.1 は、湧水比流量に対する湧水流量比（湧水流量/平均流量×100%）を地質毎にプロットした図である。多い順に並べれば、堆積岩（第四紀：平均値 15.5 l/sec/km^2 ）<火成岩類（新生代：平均値 14.6 l/sec/km^2 ）<花崗岩類（中・古生代：平均値 9.6 l/sec/km^2 ）<堆積岩・変成岩（中・古生代：平均値 7.5 l/sec/km^2 ）<堆積岩（第四紀：平均値 4.6 l/sec/km^2 ）の順となる。これらの結果は、新しい地質で空隙の多い堆積物や火成岩類が多く、比較的亀裂が少ない第三紀の堆積岩が最も少なく、古い中・古生代の堆積物や花崗岩類など日本の場合、構造的な亀裂による空隙の増加があり、第三紀堆積物より多くなっているなど、地質的な解釈と一致した結果となっている。

表 5.1 地質区分と水文地質特性

地質区分	時代区分	水文地質特性
① 花崗岩類	中・古生代	<ul style="list-style-type: none"> 地下水の賦存できる空隙は構造運動に伴う断層、亀裂 空隙は時代的に古い、比較的多く存在する 風化によりマサ化すれば空隙が多くなる。
② 堆積岩 (変成岩含む)		<ul style="list-style-type: none"> 地下水の賦存できる空隙は構造運動に伴う断層、亀裂 断層、亀裂は比較的多いが、風化は花崗岩に比べ少ない。
③ 堆積岩	第三紀	<ul style="list-style-type: none"> 地下水の賦存できる空隙は、中・古生代に比べ新しい そのため、比較的空隙は少ない
④ 火成岩類	第四紀	<ul style="list-style-type: none"> 新しい火山の噴火による岩石 地下水の賦存できる空隙は比較的多い
⑤ 堆積岩		<ul style="list-style-type: none"> 未固結の堆積物 空隙は岩盤に比べ多く存在する

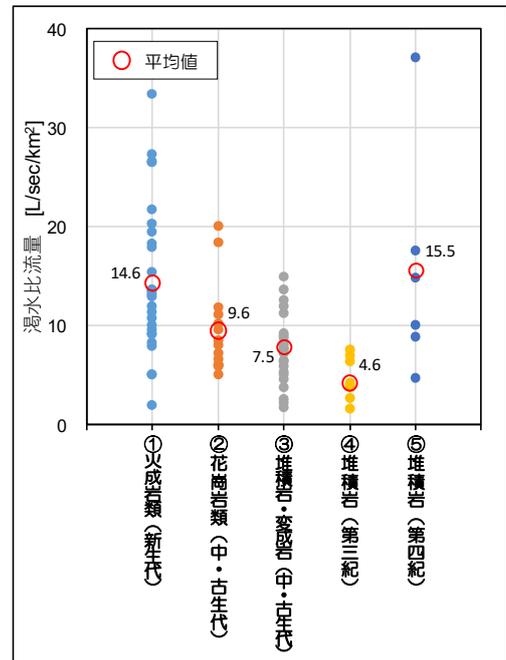


図 5.1 地質別の湧水流量比

参考文献

- 1) 沖大幹監修 (2012). 水の日本地図 朝日新聞出版, P92~95
- 2) 栢木智明 (2017). ブックレット水文地質シリーズ 3 水文・調査と測定法, 扇状地水環境機構
- 3) 虫明功臣他 (1981). 日本の山岳河川の流域に及ぼす流域の地質の効果, 土木学会論文報告集 第 309 号 P51~62