

北海道内ダム流域の土地条件と水文量との関連性について

Relationship between Land Condition and Hydrologic Process in the Dam Basins of Hokkaido

(独)北海道開発土木研究所 ○正員 高田 賢一(Ken-ichi TAKADA)
 正員 中津川 誠(Makoto NAKATSUGAWA)
 正員 村上 泰啓(Yasuhiro MURAKAMI)

はじめに

北海道のダム流域は多くが森林で覆われており、水文・水質環境が良好だと言われている。しかし、ダム流域がほとんど同じ土地利用条件に関わらず、流況は各ダムで異なる。

そこで、道内ダム流域の地質・土地利用状況および水文データを整理することにより、ダム流域の特性が水文にどのような影響を与えているのかを整理し、流況と流域条件との関連性を見出すことを試みた。

1.全道ダム流域の特徴

1.1 調査対象ダム

今回の整理において、図-1に示す北海道内の国土交通省が管理する12カ所のダムを対象とし、1997年から2001年までの水文データ(札内川ダムについては1998年から2001年)を収集した。また、国土数値情報を活用し、各ダム流域における植生及び表層地質における分布状況の整理を行った。調査対象ダムの諸元を表-1に示す。

1.2 各ダム流域の植生状況

各ダム流域における植生状況については国土数値情報を用い、各ダム流域に占める面積の割合で整理を行った。図-2に示したように鹿ノ子ダムの針葉樹林、美利河ダムのように草本・木本混合帯が支配的であるほかは、数ダムで針広混交林が一定の割合を占めるのが目立つ程度である。他のダムについては複数の植生が混在している。

1.3 ダム流域の地質状況

各ダム流域の地質割合については図-3に示すように、共通した傾向は見出せないが、漁川ダムの火山性軽石流堆積物や、豊平峡ダム、定山溪ダムの火山性岩石、札内川ダムの深成岩・変成岩類、桂沢ダムの半固結-未固結堆積物のように流域毎に特徴が見出せる。その一方で、金山ダム、二風谷ダムなど、複数の地質項目が分布しているところもある。

1.4 ダム流域の流況

ダム流域での流況を把握するため、各ダムにおける1997年から2001年までのダム日平均流入量(m³/sec)と、流域平均雨量(mm/day)を用いて7月から10月の夏期間において各ダム流域の水収支を整理した。

ここで、ダムの日平均流入量(m³/sec)については流域面積で除した流出高(mm/day)で示した。各ダムの水収支を図-4に示す。この図によると、十勝ダムのように雨量より流入量が超過しているダムがある一方で、鹿ノ子ダムのように流出率が0.5に満たないダムもある。以上の二つのダムを除けば、ほぼ0.6~0.8の範囲にある。なお、中津川¹⁾が豊平峡、定山溪、漁川の3ダムで蒸発散量を推定しているが、7月~10月の4ヶ月間の平均(1996~2000)で豊平峡では280mm、定山溪で260mmと、蒸発散を考慮すれば水収支がほぼ均衡している。ただし、漁川ダムについては蒸発散量(260mm/4ヶ月、1998~2001の平均)を考慮しても雨量が若干流出を上回り、貯留変化や流域外への漏れも考えられる。

次に、年間流況の安定性を把握するため、同じ日平均流入量

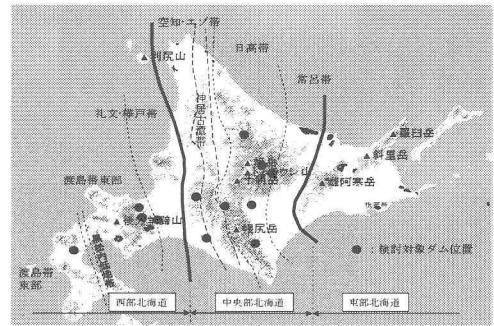


図-1 調査対象ダムの位置

表-1 調査対象ダムの諸元

ダム名	流域面積 (km ²)	完成年	有効貯水量 (千m ³)	年間降水量 (mm)	年間総流入量 (mm)
岩尾内	331.4	1971	96,300	1,138	1,454
豊平峡	134.0	1973	37,100	1,250	1,544
定山溪	104.0	1990	78,600	1,345	1,495
漁川	113.3	1981	14,100	1,557	1,413
桂沢	151.2	1957	81,800	1,526	1,414
金山	470.0	1967	130,420	839	1,291
大雪	291.6	1975	54,700	772	1,408
美利河	115.0	1992	14,500	1,772	2,497
二風谷	1215.0	1997	26,000	1,153	1,320
十勝	592.0	1984	88,000	1,107	2,163
札内川	117.7	1998	42,000	2,064	2,619
鹿ノ子	124.0	1984	35,800	898	604

注) 年間降水量はダムサイトにおける観測値。
 なお、年間降水量、年間総流入量ともに1997~2001年の5カ年平均。
 札内川ダムは1998~2001年の4カ年平均。

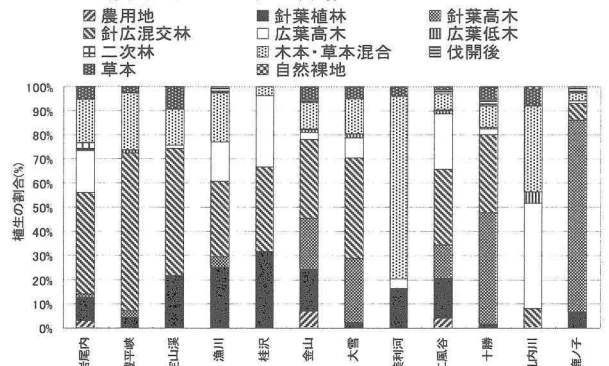


図-2 各ダム流域における植生割合

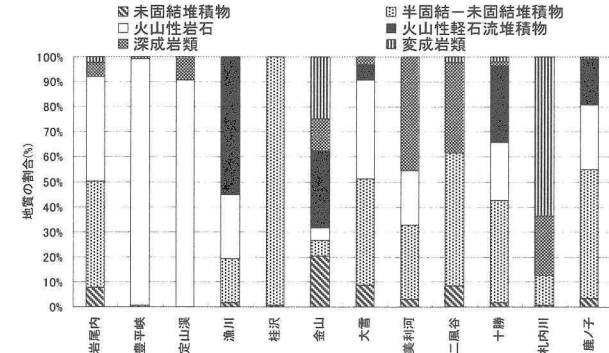


図-3 各ダム流域における地質割合

を流域面積で除した日流出高(mm/day)に換算し、それぞれ豊水(最上位値から数えて95日目の流量)、平水(同185日目)、低水(同275日目)・渇水(同355日目)の流出高に整理した。ここでは渇水流出高を図-5に示した。漁川ダムの流出高が他ダムに比べ、高い傾向を示した以外、大雪、美利河、十勝のように1.0mm/day以上を示すグループと、札内川、岩尾内のように0.5mm/day前後の低い値を示すグループと2つに分けられた。なお、渇水流出高(mm/day)を1.16倍すれば渇水比流量(m³/s/100km²)となる。

次に、豊水流出高と渇水流出高の比及び最大流量と最小流量の比を示す河状係数を図-6で整理した。この結果、これらの指標は札内川で高い値となっており、豊水時と渇水時の差が大きく、年間を通じて流況の変動が大きいことがわかる。逆に漁川や鹿ノ子のように非常に値が小さい所もあり、1年を通じて年間流量の変動が小さく、流況が安定していることを示している。

2. ダム流域の地下水貯留量の推定

2.1 概要

ダム流域での流況を整理した結果、各ダムで流況の特性が異なり、特に渇水流出高は各ダムにより大きな違いが見出された。

中尾²⁾は、河川の渇水流況には地下水が大きく影響しており、流域の地下水貯留量は流域の表面流出の集中性、地質、植生などで決められる浸透性、地下水帯水層の性格、降水量などによって流域ごとで異なることを指摘している。そこで、ダムの日流入量データを用いて地下水成分と表面・中間流出成分の2つに流出成分を分離し、そのうち地下水流出成分の総量を求め、地下水貯留量の推定を試みた。

2.2 ダム流域における流量の成分分離

流出は降雨、融雪等の浸透や貯留作用により、流出の早い成分(表面・中間流出成分)と遅い成分に分離できる。ここでは流出成分の分離方法として数値フィルターを利用することとした。日野³⁾の方法によると各成分は次のように表せる。

$$\begin{cases} q_s(t) = q(t) - q_g(t) & (q_s(t) \geq 0) \\ q_g(t) = \alpha \sum w(\tau) q(t - \tau) \end{cases} \quad (1)$$

$$w(\tau) = \begin{cases} = c_0 \exp(-c_1 \tau / 2) \sinh(\sqrt{c_1^2 / 4 - c_0} \tau) / \sqrt{c_1^2 / 4 - c_0} & (\tau \geq 0) \\ = 0 & (\tau < 0) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 q_s は表面・中間流出流量(m³/s)、 q_g は地下水流出流量(m³/s)、 α は q_g を負にしないための重み係数(≤1)である。

また、係数 c_0 及び c_1 は次のように表される。

$$\begin{cases} c_0 = (\delta / T_c)^2 \\ c_1 = \delta^2 / T_c \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 δ は減衰係数(=2.1)、 T_c は時定数(day)である。

各ダムの時定数 T_c を表-2に示す。 T_c の推定に当たっては調査対象12ダムのうち、時定数は桂沢及び美利河ダムが1999年、他のダムは2001年の日流入量データのうち、最大日流入量を記録したピーク時からの減減部解析から求めたものを使用した。また、流量の成分分離は、1997年から2001年まで5カ年の日流入量データで行った。数値フィルターによって流量の成分分離を行った結果の一例を図-7に示す。

2.3 ダム流域における地下水貯留量

2.2で求めた地下水成分流量を用い、ダム流域における地下水貯留量の推定を試みた。

中尾²⁾によると流域の無降雨状態が継続した場合、渇水期の河川流量は以下のとおり減減することが知られている。

$$Q_g = Q_{g0} \exp\left(-\frac{t}{T_c}\right) \quad (4)$$

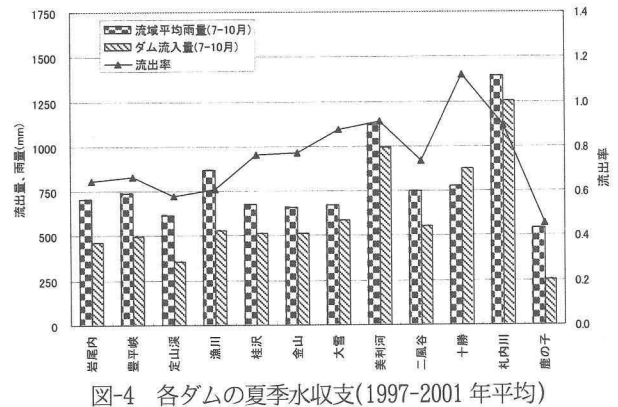


図-4 各ダムの夏季水収支(1997-2001年平均)

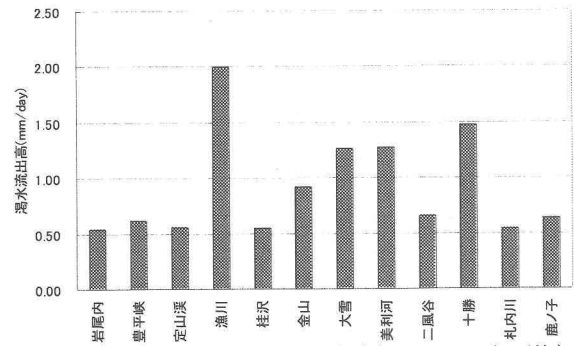


図-5 各ダムの渇水流出高(1997-2001年平均)

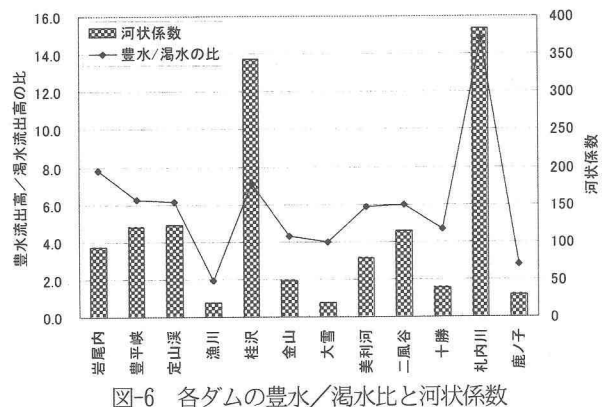


図-6 各ダムの豊水/渇水比と河状係数(1997~2001年平均)

表-2 各ダムの時定数

ダム名	時定数(day)	ダム名	時定数(day)
岩尾内	21	大雪	52
豊平峡	15	美利河	43
定山溪	22	二風谷	48
漁川	35	十勝	55
桂沢	26	札内川	13
金山	42	鹿ノ子	50

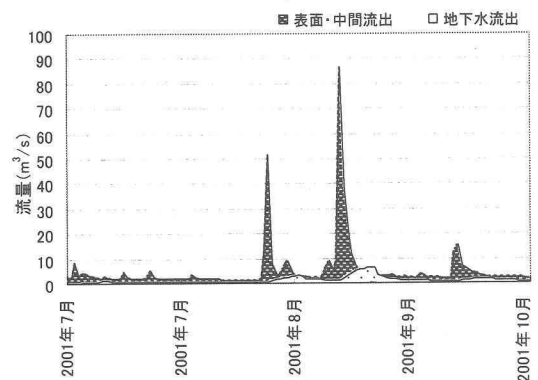


図-7 流量の成分分離(豊平峡ダム)

ここで、 Q_g は地下水成分流量(mm/day)、 Q_{g0} は地下水成分で減水が始まったときの流量(mm/day)、 T_c は時定数(day)である。

地下水貯留量 S_g は、地下水帯水層への涵養量を I と考え、以下の関係式で表される。

$$\frac{dS_g}{dt} = I - S_g \quad (5)$$

ここで、 S_g は地下水貯留量(mm)、 I は地下水涵養量(mm/day)である。

無降雨日が続くと地下水涵養量が無いものと考え、 $I=0$ として $t=0$ から ∞ まで上式を積分し、その際の貯留量が以下の式で与えられる。

$$S_{g0} = Q_{g0} \cdot T_c \quad (6)$$

(6)式の適用に当たっては、各ダムの7月～10月の流出成分を成分分離して地下水流出量のピーク値 Q_{g0} を求め、(8)式により貯留量 S_{g0} を求めた。

S_g については1997年～2001年で平均し、その結果を図-8に示す。各ダムの地下水貯留量は、図-5に示した湧水流出高が1.0mm/day以上の所(漁川、大雪、美利河、十勝)で比較的高い値を示し、それらのダム流域の貯留効果(保水能力)が高いことが示唆される。

また、同図に示した夏期降雨量に対する地下水貯留量の割合は、20%前後の比較的高いグループと10%前後のグループとに大きく分けられ、流域により大きく異なる結果が得られた。

3. 流域特性と湧水流出について

3.1 植生条件と水文学

流域の植生と水文との関連を把握するため、各植生割合と湧水流出高との関係に着目し、相関係数を求めた。図-2に示した項目のうち、調査対象ダムの平均値で全体に占める割合が5%に満たない項目はほとんど影響がないものとして関連の対象から除外した。その結果を図-9に示したが、いずれの項目とも湧水流出高に対し明確な相関は表れず、少なくとも流域の植生条件が流況に及ぼす影響は少ないことが示唆された。

3.2 地質条件と水文学

次に、北海道全域での地質と流況との関連を考えるため、図-10に北海道の地質図を示す。流況に影響を及ぼしていると考えられる軽石流堆積物は、北海道では大きく3カ所あり、西部、中央部、東部にそれぞれ分布域がある。軽石流堆積物とは、火山活動に伴い、火山噴出物が地表を流れて堆積するもののうち、強溶結部が溶結凝灰岩と呼ばれ、強～非溶結部を含むものが軽石流堆積物と総称されている⁵⁾。

北海道の火山性軽石流堆積物は、今から約3万年～1万年前に活動していた火山活動の噴出物により構成され、表-2に示すように主な噴出源は北海道においては9地区にわたって分布している。虫明⁶⁾は第四期(170万年前～現在)に生成された火山岩及び火山噴出物が分布している地域は全国的にも湧水比流量が高いことを指摘している。北海道においては、中村⁷⁾が火山性岩石の中でも、特に軽石流堆積物の分布域と図-11に示す湧水比流量が1.5m³/s/100km²(流出高に換算して約1.3mm/day)以上の地域とは比較的良好一致していることを指摘している。また、この軽石流堆積物が分布している図-3に示した漁川、金山、十勝、大雪、鹿ノ子のダム群において、豊水流出高に対する湧水流出高の比が図-6のように5.0以下(河状係数は50以下)を示しているのに対し、軽石流堆積物が流域に分布していない場合、6.0以上(河状係数は50以上)の値を示した。中でも軽石流堆積物が流域の約6割を占める漁川ダムでは2.0(河状係数は19)と、他のダムと比較しても特に低い値が認められ、地質条件が流況に与える影響が大きいことが示唆された。

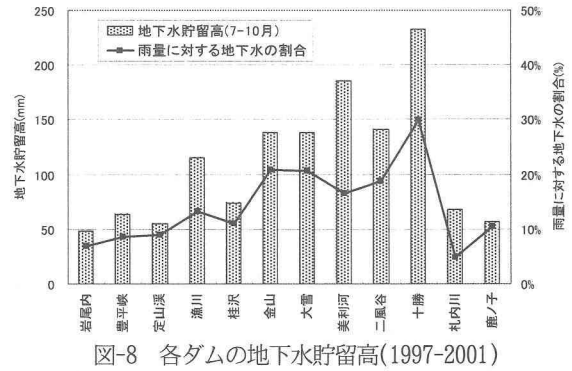


図-8 各ダムの地下水貯留高(1997-2001)

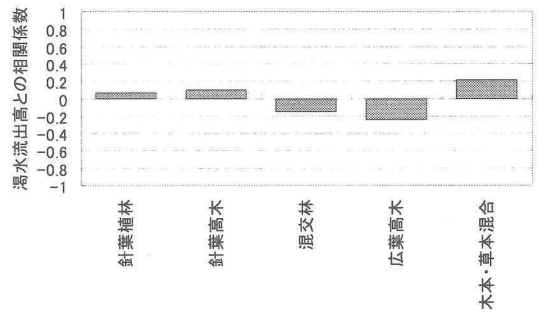


図-9 湧水流出高と植生との相関

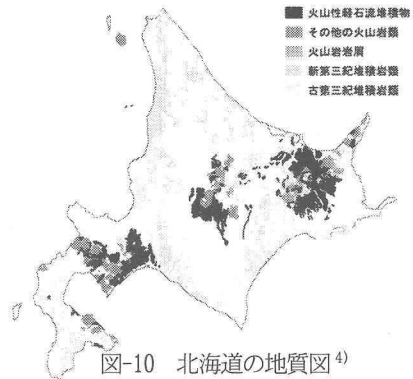


図-10 北海道の地質図⁴⁾

表-2 北海道の火山性軽石流堆積物⁵⁾

名称	噴出源	噴出年代(絶対年代Y.B.P)
駒ヶ岳軽石流堆積物	駒ヶ岳	完新世～更新世
濁川軽石流堆積物	濁川カルデラ	更新世
洞爺軽石流堆積物	洞爺カルデラ(洞爺湖)	更新世(13900±250)
倶多楽軽石流堆積物	倶多楽カルデラ(倶多楽湖)	更新世
樽前軽石流堆積物	樽前山	更新世
支笏軽石流堆積物	支笏カルデラ(支笏湖)	更新世(31900±1700)
阿寒軽石流堆積物	阿寒カルデラ(阿寒湖など)	更新世(~31500)
屈斜路軽石流堆積物	屈斜路カルデラ(屈斜路湖)	更新世(32300±30000)
摩周軽石流堆積物	摩周カルデラ(摩周湖)	完新世(6460±130)

注)Y.B.Pとは、西暦1950年を基準とした年代の数え方。
13,900Y.B.Pは、1950年から13,900年前を示す。

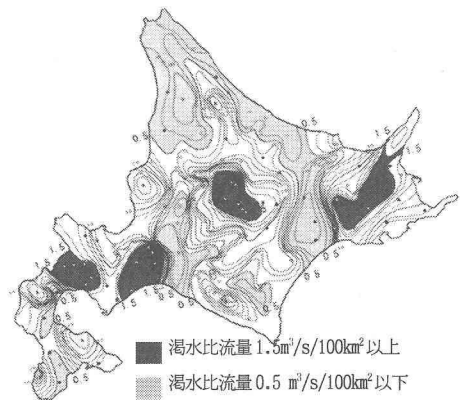


図-11 北海道の湧水比流量⁷⁾

次に流域内の地質状況と水文量との関係性を見るため、植生と同様に湧水流出高と地質割合との相関係数を求めた。図-12のように数種類ある地質分類のうち、火山性軽石流堆積物と湧水流出高との関係が比較的良好な相関が得られたが、他の地質分類では明確な傾向を得ることはできなかった。また、図-13に示した火山性軽石流堆積物と湧水流出高との関係に見られるように、火山性軽石流堆積物の分布は流況に影響を及ぼしていることが示唆される。

4. 流域特性と洪水流出について

次に、洪水時の水文と流域条件との関係について整理を行った。各ダムにおける1997年から2001年の5カ年間について、最大3日間降雨時の3日間流出高を合算し、最大3日間降雨量で除して流出率 f を求めた。その結果、図-14に示すように桂沢、札内川の2ダムで流出率が0.8以上を越えるダムがある一方で岩尾内、漁川、金山、大雪、鹿ノ子の5ダムでは流出率が0.3前後の低い値を示していることがわかる。さらに流出率 f の5カ年平均値と植生及び地質との関係を把握するために相関係数を求めた。ここで、植生については図-2に示した項目のうち、調査対象12ダムの平均値で各項目の割合が5%に満たない項目はほとんど影響がないものとして相関の対象から除外した。植生割合との関係を求めた結果、図-15に示すように特徴的な項目はなく、広葉高木で若干高い係数が出る程度であった。

最後に、地質割合との関係を図-16に示したが、長期的な流出傾向については、火山性軽石流堆積物が比較的良好な相関が得られた他に、短期的な洪水時の流出については植生、地質とも明確な関係は見出せなかった。ただし、図-8のように長期的な流出において貯留効果が高い漁川、金山、大雪では、図-14の3日間流出率が小さい値を示しており、地質との関係が明瞭とは言えないが洪水緩和効果が見られているような流域もある。

まとめ

北海道のダムにおいて、水文データを整理し土地利用や地質データとの関連性を整理した結果、長期的な流出については地質により流況が影響を受けていることが示唆された。特に火山活動により生成された軽石流堆積物が分布するダム流域で、流況の変動が低く、安定性が高い傾向が見られた。さらに、各ダムの夏期における地下水貯留量を推算した結果、軽石流堆積物を含んでいるダム流域については流域平均降雨量に対し、概ね10%以上の地下水貯留量があることが分かった。

今後の課題として、流域の貯留効果を検討する上で経年的な地下水貯留量の変化高を考慮し、水収支と流域がもつ貯留効果の動向について解析を行ってきたい。

謝辞: 本研究の一部は、平成15年度北海道開発局受託研究費によって実施された。また、各種データを提供して頂いた北海道開発局の各ダム管理所、北海道電力株式会社に謝意を表す。

参考文献:

- 1) 中津川誠, 濱原能成, 星清: 積雪変化を考慮した長期流出計算, 水工学論文集, 第47巻, pp157-162, 2003.
- 2) 中尾欣四郎, 湖沼水位の安定性についての研究, 北海道大学学位論文, pp34-41, 1970.
- 3) 日野幹雄, 長谷部正彦: 水文流出解析, pp84-93, 森北出版, 1985.
- 4) 北海道地質ガイド, 北海道地質調査連携研究体, 2001.
- 5) 若松幹男, 近藤務: 北海道の火山灰質土, 土と基礎 37-9(380), pp24-29, 1989.
- 6) 虫明功臣: 流出現象の地域性をどうみるか, 河川水文学(高橋裕 編), 共立出版, pp168-172, 1978.
- 7) 中村興一: 三枚の北海道地図と二つの川の流況表, 開発土木研究所月報, No. 506, pp26-pp29, 1995.

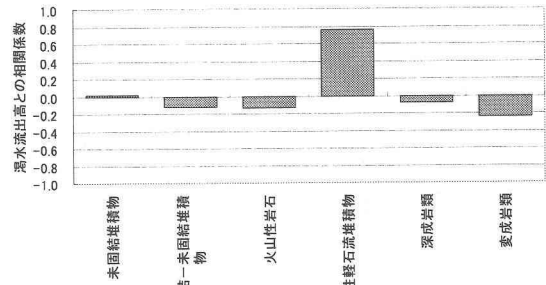


図-12 湧水流出高と地質との相関

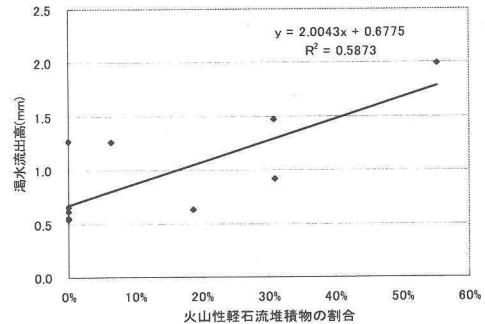


図-13 湧水流出高と火山性軽石流堆積物との関係

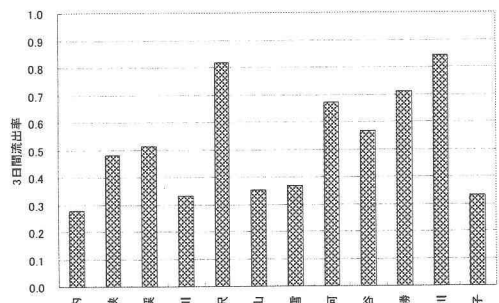


図-14 各ダムの降雨時3日間流出率(1997-2001)

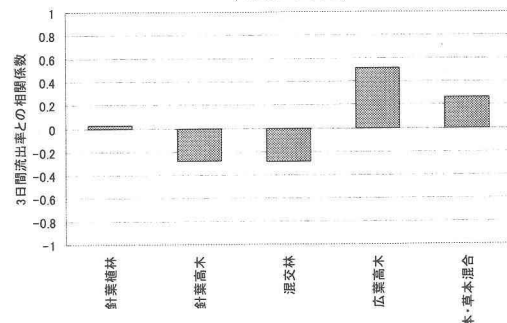


図-15 3日間流出率と植生割合との相関

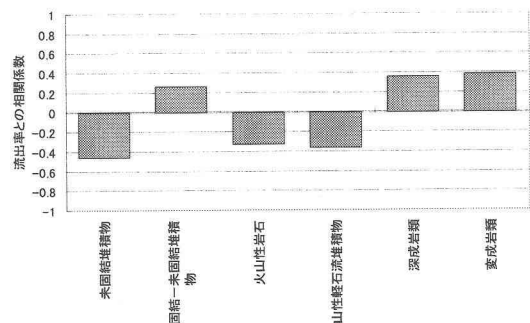


図-16 3日間流出率と地質割合との相関