

森林流出水の水質特性と森林植生の 水源涵養機能に関する研究

イリシャット ラヒム¹・柿本大典²・今井 剛³・浮田正夫⁴

¹学生員 工修 山口大学大学院理工学研究科・博士後期課程 (〒755-8611 宇部市常盤台 2557)

²学生員 山口大学大学院理工学研究科・博士前期課程 (〒755-8611 宇部市常盤台 2557)

³正会員 工博 山口大学助手 工学部社会建設工学科 (〒755-8611 宇部市常盤台 2557)

⁴正会員 工博 山口大学教授 工学部社会建設工学科 (〒755-8611 宇部市常盤台 2557)

森林植生の特性が森林流出水に及ぼす影響を調べるため、人為的影響の少ない水道水源の水質分析を行った。その結果から森林流出水の水質は概して良好であり、広葉樹林面積率・針葉樹林面積率と流出水の TOC, COD 濃度との間には相関が得られ、森林植生による森林流出水質への影響が認められた。また、河川上流域の植生・土地利用状況が水源涵養機能および水質に及ぼす影響を明らかにするため、河川上流域の植生・土地利用形態と渇水年・豊水年の水文・水質データの解析を行った。その結果から広葉樹林の保水機能が発達し、面積率の高い方が低流出率が大きい傾向があり、針葉樹林の方が水の蒸発散量が大きく、渇水年では気温による年平均流出率への影響が大きいことがわかった。

Key Words : runoff from forest, water resource quality, broadleaf forest, coniferous forest, forest vegetation, wet year, dry year, runoff ratio, correlation.

1. はじめに

近年、安全で良質な水に対する国民の要求は極めて大きいものがある。1994年に成立した水源二法により水源地域の河川水質管理の枠組みが示され、水質管理対策が講じられつつあり、河川の水量と水質の一体的管理および総合的流域管理は今後の河川行政の重要な課題となっている。利水面においては、渇水時における水量の減少、水質の汚濁により国民の生活に重大な支障がきたすことのないように河川環境管理を行うことが肝要である。

森林については、環境保全、水源涵養等の様々な観点からその重要性が認識されている。林野庁では森林の公益機能の経済評価を試みているが、その算定の根拠は必ずしも明確ではない^{1),2)}。森林集水域での降水や渓流水の水質に関する研究も盛んに行われてきた。国松ら^{3),4),5)}はスギ・ヒノキ造林地からなる油日岳実験流域での窒素・リン・CODの流出特性について、橋⁶⁾は北海道の2つの森林集水域からの栄養塩類の流出負荷量および季節変化について報告している。平田ら⁷⁾は森林生態系における物質循環を森林土壌に含まれる物質質量やその鉛直分布の違いに

よって評価し、森林土壌水質の起源や森林土壌水流出の渓流水質に及ぼす影響を報告している。大類ら⁸⁾はスギ・ヒノキからなる森林集水域の土壌水および渓流水水質の経時的な変化や、降水から渓流水までの水質変化の過程に対して、どのような要素が影響を及ぼしているかについて検討した。

一方、森林の保水機能については端野ら⁹⁾が森林水収支を定量評価するための森林水循環モデルを構築し、実森林データへの適用を試みている。村井¹⁰⁾は広葉樹林地が針葉樹林地、草地より高い浸透能を持っていると報告している。また竹下¹¹⁾は森林土壌の製造者である森林が水資源涵養、洪水調節にとって不可欠の存在であるとしている。

これらの研究は一定の地域と限られた流域で行われており、森林の河川水質、水源涵養に及ぼす影響が定量的に十分明らかとされていないのが現状である。

そこで本研究は森林河川流域の植生状況が河川水質にどのような影響を与えているのか、また、河川上流域の土地利用、森林管理のあり方に関連して、森林植生の違いによる水源涵養機能、水質の違いを明らかにすること

を目的としている。すなわち、水質調査結果をもとに、流域の植生の違いと森林流出水質の関係について検討する。次に、豊水、渇水の極端な差を示した1993年および1994年の全国の一級河川の水文・水質データから、河川上流域の植生・土地利用面積率の違いによる水源涵養機能、水質の特性について検討を行った。

2. 調査および研究方法

(1) 水源水質調査

第1回調査では1994年、全国47の都道府県と1880の水道企業体を対象に行った水源水質保全に関するアンケート調査結果¹²⁾から原水試料提供可能あるいは交渉次第で可能と答えた市町村を選出し、このうちきれいな源水であると認識されている水源流域の植生、地理的位置等を考えて50カ所を選定した。この50の市町村の水道課あるいは水道企業体に、8~9月の間に源水を採水し、採水位置、採水日・時間等を記録して、冷蔵郵送してもらおうよう依頼した。その結果9月末までに36の市町村・水道企業体から47のサンプルが届いた。

また、第2回調査では1995年10月に「水源の森百選」に選ばれた水源を持つ市町村に同じように採水を依頼し、同年11月までに19の市町村から21のサンプルが届いた。これらの68源水試料についてTOC、COD、NO₃-N、NH₄-N、T-N、PO₄-P、T-P等18項目の水質分析を行った¹³⁾。

森林状況と水質の関係をみるために流域の植生図入手可能な表流水を対象として、第1回調査から33流域、第2回調査から19流域を選出した。選出したこれらの流域について5万分の1の地形図、植生図の上で流域位置を確定し、流域界をトレースした。トレースした流域界について流域面積、植生区分面積をプランメーターよりそれぞれ求めた。樹種は広葉樹林、針葉樹林、混交樹林とその他に分類した。

(2) 河川上流域の森林植生の水源涵養に及ぼす影響調査

a) 流域の選択

流量年表より、比較的上流部に設けられている測定点として北海道10流域、東北14流域、関東11流域、北陸11流域、中部8流域、近畿7流域、中国7流域、四国12流域、九州13流域、合計93流域を選択した。選択したこれらの流域について、1993年、1994年の雨量年表¹⁴⁾、流量年表¹⁵⁾、水質年表¹⁶⁾からそれぞれの流域の雨量、流量、水質のデータを抽出した。雨量の測定点は必ずしも流量測定の対象となる流域に対応するものではなかったが、最も近い雨量測定点のデータを使用した。それぞれ、最大、豊水、平水、低水、渇水、最小および年平均の比流量(m³/sec/100km²)を抽出し、また、同じく年降水量に対するそれぞれの流出率を求めた。さらにこれらの流

域の中から、比較的隣接している2流域であって、1993年の豊水比流量と1994年の渇水比流量の比に大きな差がみられる流域を対象流域として選出した。

b) 土地利用状況

20万分の1地形図¹⁷⁾より対象流域について、流域界をトレースした。土地利用面積の算出については、20万分の1土地利用図¹⁸⁾より、拡大コピーをしたものを土地利用別に切り取って、重さを量り、重さの割合で面積割合を求めた。この割合によって流量年表に記載された各流域の流域面積を割り振った。土地利用の区分は針葉樹林、広葉樹林、混交樹林、野草地、水田、畑、住宅地、工場地とした。なお、ダム湖については、ダム年鑑¹⁹⁾のダム一覧表から、地形図の流域図を参照しつつ、合計有効貯水量と湖面積を求めた。

c) 水質

1993年、1994年の水質年表から対象流域の豊水年と渇水年の年平均水質項目COD、BOD、SS、T-N、NO₃-N、T-Pをそれぞれ抽出した。水質調査地点と流量観測地点が一致しない場合には、流域内で流域観測地点に最も近い水質調査地点のデータを使用した。

3. 結果と考察

(1) 水源水質調査結果および考察

2回の水源水質調査結果からの主な水質と樹種割合を表-1と表-2に示す。表流水(n=54)についてみると、CODは0.2~4.6mg/lで、北海道の当別川4.6、ルベシバツ川3.1、大掘止川2.7、弘前市岩木川2.8、村田町谷山3.6mg/l等が若干高かった。TOCは0.4~3.4mg/lで、CODの濃度が若干高い流域でTOCの濃度も高い傾向であった。なお、これらの河川では森林面積の割合が高く、広葉樹林の割合が50%以上占めていた。

NO₃-Nは0.003~1.160mg/lで、竹田市魚住ダム1.160、柿村郷四朗谷0.626、舞鶴市与作呂(桂)1.000、玉川町木地川支流1.120mg/lを除けば0.600mg/l以下であった。北海道の河川は概ね0.05mg/l以下の低い値を示した。T-Nは0.032~1.170mg/lで、NO₃-Nの濃度が高い流域でT-Nの濃度も高い値を示した。雄武町音稲府川は0.032mg/l、江差町サダサ川は0.026mg/lと非常に低い濃度を示した。

PO₄-Pは0.001~0.072mg/lで、竹田市魚住ダム0.072、宮田村黒川0.046、菊池市菊池溪谷0.040、奥多摩町日原支流0.034、庄内町久住男池0.058mg/lが高い値を示した。T-Pは0.005~0.110mg/lで、竹田市魚住ダム0.082、宮田村黒川0.110、南足柄市狩川と上川町九十九川0.038、菊池市菊池溪谷0.044、奥多摩町日原支流0.046、庄内町久住男池0.072mg/lで、高い値を示した。

一方、湧水(n=14)についてみると、CODが0.1~1.0mg/lで、表流水に比較すると明らかに低い傾向を示した。TOC

表-1 第1回調査流域の森林率および森林流出水の主な水質（表流水）

| 市町村名 | 水源名 | 広葉樹林 | 針葉樹林 | 混交林 | その他 | TOC | COD | NO ₃ -N | NH ₄ -N | T-N | PO ₄ -P | T-P |
|-----------|--------|------|------|-----|-----|------|------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|-------|
| | | % | % | % | % | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l |
| 函館市 | 松倉川 | 86 | 11 | 0 | 3 | 1.6 | 1.8 | 0.019 | 0.005 | 0.063 | 0.012 | 0.015 |
| 函館市 | 新中野貯水池 | 50 | 20 | 30 | 0 | 1.1 | 1.7 | 0.010 | 0.006 | 0.081 | 0.015 | 0.019 |
| 小樽市 | 銭函川 | 42 | 58 | 0 | 0 | 1.0 | 1.2 | 0.053 | 0.009 | 0.090 | 0.003 | 0.007 |
| 当別町 | 当別川 | 80 | 15 | 0 | 5 | 3.4 | 4.6 | 0.024 | 0.012 | 0.227 | 0.005 | 0.027 |
| 上川町 | カベツ川 | 60 | 30 | 10 | 0 | 2.3 | 3.1 | 0.066 | 0.006 | 0.155 | 0.010 | 0.010 |
| 上川町 | 九十九川 | 38 | 62 | 0 | 0 | 1.3 | 0.8 | 0.171 | 0.001 | 0.246 | 0.027 | 0.038 |
| 美瑛町 | 美瑛川 | 29 | 63 | 0 | 8 | 1.0 | 0.6 | 0.013 | 0.001 | 0.067 | 0.012 | 0.012 |
| 木古内町 | 大堀止川 | 75 | 25 | 0 | 0 | 2.9 | 2.7 | 0.044 | 0.003 | 0.079 | 0.004 | 0.006 |
| 雄武町 | 音稲府川 | 55 | 35 | 5 | 25 | 2.7 | 2.4 | 0.003 | 0.004 | 0.032 | 0.010 | 0.011 |
| 江差町 | 豊部内川 | 49 | 51 | 0 | 0 | 1.3 | 1.3 | 0.041 | 0.010 | 0.054 | 0.004 | 0.008 |
| 江差町 | サガ川 | 16 | 84 | 0 | 0 | 1.2 | 1.0 | 0.024 | 0.004 | 0.026 | 0.004 | 0.005 |
| 弘前市 | 岩木川 | 75 | 5 | 0 | 20 | 2.6 | 2.8 | 0.016 | 0.022 | 0.149 | 0.006 | 0.018 |
| 北上市 | 夏油川 | 78 | 22 | 0 | 0 | 1.4 | 1.4 | 0.069 | 0.012 | 0.149 | 0.008 | 0.011 |
| 熱塩加納村 | 大捨沢 | 95 | 0 | 0 | 5 | 1.1 | 1.3 | 0.083 | 0.007 | 0.140 | 0.003 | 0.008 |
| 藤原町 | 芹沢 | 100 | 0 | 0 | 0 | 1.9 | 2.2 | 0.275 | 0.009 | 0.321 | 0.011 | 0.019 |
| 南足柄市 | 狩川 | 71 | 23 | 0 | 0 | 1.6 | 1.6 | 0.237 | 0.016 | 0.242 | 0.030 | 0.038 |
| 大和町 | 三国川 | 82 | 0 | 0 | 18 | 1.3 | 1.2 | 0.133 | 0.010 | 0.181 | 0.007 | 0.010 |
| 新発田市 | 加治川 | 75 | 15 | 0 | 0 | 2.0 | 1.7 | 0.215 | 0.014 | 0.308 | 0.004 | 0.009 |
| 宮田村 | 黒川 | 65 | 15 | 20 | 8 | 1.4 | 2.3 | 0.125 | 0.231 | 0.708 | 0.046 | 0.110 |
| 三郷村 | 黒沢川 | 75 | 25 | 0 | 0 | 1.3 | 1.6 | 0.087 | 0.007 | 0.165 | 0.013 | 0.029 |
| 天城湯ヶ島町 | 本谷川 | 31 | 53 | 0 | 16 | 1.2 | 0.6 | 0.148 | 0.003 | 0.245 | 0.004 | 0.024 |
| 新宮町 | 親宮川 | 55 | 15 | 10 | 20 | 0.7 | 0.8 | 0.113 | 0.012 | 0.165 | 0.003 | 0.006 |
| 大山 | 本宮の泉 | | | | | 0.9 | 0.4 | 0.341 | 0.004 | 0.430 | 0.016 | 0.037 |
| 柿木村 | 郷四郎谷川 | 78 | 22 | 0 | 0 | 1.3 | 1.1 | 0.626 | 0.002 | 0.691 | 0.013 | 0.019 |
| 錦町 | 寂地峽 | 76 | 24 | 0 | 0 | 1.1 | 1.2 | 0.200 | 0.007 | 0.233 | 0.007 | 0.007 |
| 宇和島市 | 須賀川上流 | 72 | 28 | 0 | 0 | 1.4 | 1.8 | 0.259 | 0.004 | 0.343 | 0.002 | 0.011 |
| 宇和島市 | 須賀川がま | 73 | 27 | 0 | 0 | 1.8 | 2.3 | 0.205 | 0.006 | 0.353 | 0.002 | 0.014 |
| 三間町 | 浩森川 | 25 | 75 | 0 | 0 | 1.9 | 0.4 | 0.183 | 0.002 | 0.214 | 0.013 | 0.020 |
| 平戸市 | 箕坪がま | 60 | 40 | 0 | 0 | 2.0 | 2.2 | 0.286 | 0.005 | 0.386 | 0.002 | 0.010 |
| 大瀬戸町 | 河通川 | 48 | 52 | 0 | 0 | 1.3 | 0.5 | 0.075 | 0.005 | 0.171 | 0.003 | 0.007 |
| 竹田市 | 魚住がま | 20 | 60 | 0 | 20 | 1.7 | 0.3 | 1.160 | 0.007 | 1.170 | 0.072 | 0.082 |
| 菊池市 | 菊池溪谷 | 37 | 63 | 0 | 0 | 0.6 | 0.2 | 0.130 | 0.010 | 0.160 | 0.040 | 0.044 |
| 上屋久町 | 白谷川 | 20 | 75 | 0 | 5 | 0.8 | 1.3 | 0.029 | 0.002 | 0.126 | 0.001 | 0.005 |
| 続表-1 (湧水) | | | | | | | | | | | | |
| 京極町 | 吹き出しの沢 | | | | | 1.3 | 0.3 | 0.948 | 0.005 | 0.958 | 0.076 | 0.099 |
| 美瑛町 | 白金 | 0 | 0 | 80 | 20 | 0.8 | 0.2 | 0.071 | 0.005 | 0.109 | 0.009 | 0.009 |
| 標茶町 | コトナイ川 | | | | | 1.8 | 0.2 | 0.100 | 0.009 | 0.138 | 0.069 | 0.088 |
| 三厩村 | 竜飛 | 95 | 0 | 0 | 5 | 1.5 | 1.0 | 0.049 | 0.003 | 0.052 | 0.004 | 0.005 |
| 三厩村 | 三厩 | 0 | 100 | 0 | 0 | 1.2 | 0.8 | 0.089 | 0.002 | 0.142 | 0.002 | 0.006 |
| 田子町 | 青比良湧水 | 58 | 42 | 0 | 0 | 1.2 | 0.4 | 0.218 | 0.001 | 0.279 | 0.015 | 0.027 |
| 松尾村 | 金沢清水群 | 0 | 0 | 0 | 100 | 2.6 | 0.1 | 0.132 | 0.008 | 0.210 | 0.040 | 0.040 |
| 宮田村 | 第1水源 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0.5 | 0.3 | 0.270 | 0.010 | 0.295 | 0.005 | 0.010 |
| 宮田村 | 第4水源湧水 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0.8 | 0.4 | 0.224 | 0.017 | 0.323 | 0.002 | 0.006 |
| 萩原町 | 萩原湧水 | 40 | 60 | 0 | 0 | 0.5 | 0.4 | 0.367 | 0.111 | 0.419 | 0.006 | 0.010 |
| 萩原町 | 釜ヶ野湧水 | 30 | 70 | 0 | 0 | 1.1 | 0.3 | 0.639 | 0.028 | 0.732 | 0.008 | 0.010 |
| 沼津市 | 柿田川 | 0 | 0 | 0 | 100 | 1.3 | 0.1 | 0.954 | 0.005 | 0.840 | 0.078 | 0.079 |
| 川上村 | 内海谷川支流 | 40 | 60 | 0 | 0 | 0.8 | 0.3 | 0.037 | 0.001 | 0.038 | 0.018 | 0.021 |
| 高千穂町 | 五ヶ瀬川水系 | 0 | 100 | 0 | 0 | 2.1 | 0.1 | 0.908 | 0.005 | 1.000 | 0.025 | 0.031 |

は0.5~2.6mg/lで、やはり、表流水に比較するとやや低い傾向があるが、CODほどの差はなかった。NO₃-Nは0.037~0.954mg/lで、京極町吹き出しの沢0.948、沼津市柿田川0.954、高千穂町五ヶ瀬川0.908mg/lがやや高い値を示した。T-Nは0.038mg/l~1.000mg/lで、構成成分としてはNO₃-Nが主体であり、表流水とあまり変わらないレベルであった。

PO₄-Pは0.002~0.078mg/lで、表流水と同程度のレベルであり、沼津市柿田川0.078、京極町吹き出しの沢0.076、標茶町コトナイ川0.069、松尾村金沢清水群0.040mg/l等が高い値を示した。T-Pは0.005~0.099mg/lで、京極町吹き出しの沢0.099、標茶町コトナイ川0.088、沼津市柿田川0.079、松尾村金沢清水群0.040mg/l等が高い値を示した。T-Pは概して湧水で高い傾向にあった。

表-2 第2回調査流域の森林率および森林流出水の主な水質

| 市町村名 | 水源名 | 広葉樹林 | 針葉樹林 | 混交林 | その他 | TOC mg/l | COD mg/l | NO ₃ -N mg/l | NH ₄ -N mg/l | T-N mg/l | PO ₄ -P mg/l | T-P mg/l |
|------|--------|------|------|-----|-----|-------------|-------------|----------------------------|----------------------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | % | % | % | % | | | | | | | |
| 村田町 | 谷山 | 75 | 25 | 0 | 0 | 1.7 | 3.6 | 0.132 | 0.011 | 0.306 | 0.010 | 0.027 |
| 栗駒町 | 沼ヶ森 | 45 | 55 | 0 | 0 | 1.0 | 2.1 | 0.018 | 0.008 | 0.083 | 0.009 | 0.019 |
| 山形市 | 不動沢ダム | 64 | 28 | 8 | 0 | 0.9 | 1.1 | 0.092 | 0.017 | 0.109 | 0.010 | 0.017 |
| 奥多摩町 | 日原川支流 | 25 | 70 | 0 | 0 | 0.5 | 0.3 | 0.124 | 0.005 | 0.133 | 0.034 | 0.046 |
| 井口村 | 赤祖父川水系 | 15 | 75 | 10 | 0 | 0.6 | 0.5 | 0.185 | 0.012 | 0.210 | 0.019 | 0.020 |
| 名田庄村 | 染ヶ谷川 | 70 | 0 | 30 | 0 | 0.9 | 1.4 | 0.172 | 0.032 | 0.214 | 0.011 | 0.015 |
| 小浜町 | 遠敷川 | 65 | 0 | 35 | 0 | 1.1 | 1.8 | 0.510 | 0.007 | 0.210 | 0.011 | 0.015 |
| 八幡町 | 大浅柄谷 | 40 | 30 | 30 | 0 | 0.8 | 1.1 | 0.219 | 0.015 | 0.278 | 0.024 | 0.029 |
| 富宮市 | 天子の森 | 34 | 66 | 0 | 0 | 1.0 | 0.6 | 0.510 | 0.086 | 0.610 | 0.006 | 0.017 |
| 大山田村 | 東出川 | 35 | 65 | 0 | 10 | 1.0 | 1.5 | 0.600 | 0.009 | 0.744 | 0.008 | 0.013 |
| 舞鶴市 | 与保呂 岸谷 | 0 | 59 | 0 | 41 | 1.8 | 2.5 | 0.351 | 0.052 | 0.501 | 0.009 | 0.030 |
| 舞鶴市 | 与保呂 桂 | 0 | 59 | 0 | 41 | 1.3 | 1.9 | 1.000 | 0.012 | 1.100 | 0.011 | 0.015 |
| 高槻市 | 西水無瀬川 | 60 | 40 | 0 | 0 | 0.9 | 1.1 | 0.486 | 0.005 | 0.510 | 0.021 | 0.021 |
| 波賀町 | 音水川 | 50 | 50 | 0 | 0 | 0.6 | 1.6 | 0.090 | 0.023 | 0.128 | 0.009 | 0.013 |
| 上斎原村 | 奥津 | 70 | 30 | 0 | 0 | 1.3 | 1.9 | 0.033 | 0.016 | 0.077 | 0.009 | 0.010 |
| 錦町 | 木谷川 | 34 | 66 | 0 | 0 | 0.8 | 1.1 | 0.114 | 0.029 | 0.142 | 0.009 | 0.010 |
| 玉川町 | 木地川支流 | 10 | 90 | 0 | 0 | 0.4 | 1.2 | 1.120 | 0.010 | 1.350 | 0.009 | 0.014 |
| 本川村 | 寺川 白猪谷 | 20 | 80 | 0 | 0 | 0.7 | 0.7 | 0.231 | 0.000 | 0.247 | 0.004 | 0.004 |
| 本川村 | 寺川 手箱谷 | 45 | 55 | 0 | 0 | 1.3 | 1.0 | 0.059 | 0.004 | 0.061 | 0.004 | 0.005 |
| 西有田町 | 広瀬川上流 | 70 | 10 | 0 | 20 | 1.1 | 1.7 | 0.416 | 0.015 | 0.462 | 0.017 | 0.017 |
| 庄内町 | 久住男池 | 40 | 50 | 10 | 0 | 0.6 | 0.5 | 0.380 | 0.014 | 0.394 | 0.058 | 0.072 |

表-3 森林流出水の水質平均

| 項目 | 試料数:68 単位:mg/l | | | | | | |
|------|----------------|------|--------------------|--------------------|------|--------------------|-------|
| | TOC | COD | NO ₃ -N | NH ₄ -N | T-N | PO ₄ -P | T-P |
| 平均 | 1.30 | 1.20 | 0.26 | 0.015 | 0.32 | 0.016 | 0.023 |
| 標準偏差 | 0.65 | 0.93 | 0.28 | 0.030 | 0.29 | 0.018 | 0.023 |
| 変動係数 | 0.50 | 0.78 | 1.08 | 2.00 | 0.91 | 1.13 | 1.00 |
| 最小 | 0.49 | 0.06 | 0.00 | 0.000 | 0.03 | 0.001 | 0.004 |
| 最大 | 3.43 | 4.56 | 1.16 | 0.231 | 1.31 | 0.078 | 0.110 |

水源水質調査1回および2回目の全68個所における森林流出水の平均値を表-3に示す。平均値±標準偏差として、TOCが1.30±0.65mg/l、CODが1.20±0.93mg/l、NO₃-Nが0.23±0.28mg/l、NH₄-Nが0.015±0.030mg/l、T-Nが0.32±0.29mg/l、PO₄-Pが0.016±0.018mg/l、T-Pが0.023±0.023mg/lであった。

(2) 森林流出水水質と植生の関係

表流水(n=52)の主な水質項目間の相関係数を表-4と表-5に示す。植生については広葉樹林面積割合とTOC、COD濃度の間には危険率5%で有意な正の相関、一方、針葉樹林面積割合とそれらの間には危険率5%で有意な負の相関がみられた。また、混交樹林面積割合とNH₄-Nとの間にも危険率5%で有意な正の相関がみられた。他の項目については明確な関係は認められなかった。図-1に第1回調査、図-2に第2回調査における表流水のCOD濃度と広葉樹林面積率の関係を示す。流域内で広葉樹林の面積が大きいほどCODの濃度は高く、正の相関関係があり、逆に針葉樹林面積率と負の相関関係があることがわかる。

広葉樹林の割合が高い場所では、落葉・落枝が腐植し、

土壌の栄養源となっているので、そこから流出する河川のCODやTOCは高くなる傾向がある。すなわち、広葉樹林から出てくる水はある程度有機物質も含まれており、それが河川の生物を養っていると考えられる。PO₄-PとT-Pは広葉樹林と針葉樹林ともに相関はみられなかった。

(3) 河川上流域の森林・土地利用の水源涵養に及ぼす影響調査結果および考察

a) 流域の選択

あらかじめ選択した、一級河川の上流93流域の中から、1993年の豊水年比流量と1994年の渇水比流量にかなり大きな差がみられる北海道3流域、東北5流域、関東2流域、北陸2流域、中部2流域、近畿0流域、中国2流域、四国6流域、九州4流域の合計26流域を選択した。年平均比流量は、北海道を除いて1993年度が1994年度より大きく、ほぼ全国的に豊水年、渇水年の様相を呈していることがわかる。

b) 土地利用状況

表-6に抽出した26流域の土地利用別面積の割合を示す。流域面積は55km²~942km²、平均392km²であった。土

表-4 樹種面積率と表流水水質の相関係数 (第1回目調査)

| 変数 | データ数N=33 有意確率 (網掛け表示) p<0.0500 | | | | | | |
|------|--------------------------------|-------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|-------|
| | TOC | COD | NO ₃ -N | NH ₄ -N | T-N | PO ₄ -P | T-P |
| 広葉樹林 | 0.36 | 0.55 | 0.21 | 0.10 | 0.24 | -0.27 | -0.15 |
| 針葉樹林 | -0.33 | -0.55 | -0.10 | -0.21 | -0.21 | 0.16 | 0.04 |
| 混交林 | -0.09 | 0.17 | -0.21 | 0.48 | 0.11 | 0.20 | 0.30 |
| その他 | 0.14 | 0.01 | -0.29 | 0.10 | -0.16 | 0.18 | 0.17 |

表-5 樹種面積率と表流水水質の相関係数 (第2回目調査)

| 変数 | データ数N=19 有意確率 (網掛け表示) p<0.0500 | | | | | | |
|------|--------------------------------|-------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|-------|
| | TOC | COD | NO ₃ -N | NH ₄ -N | T-N | PO ₄ -P | T-P |
| 広葉樹林 | 0.72 | 0.64 | -0.46 | -0.13 | -0.47 | -0.06 | -0.13 |
| 針葉樹林 | -0.55 | -0.48 | 0.26 | 0.04 | 0.26 | 0.02 | 0.06 |
| 混交林 | -0.01 | -0.03 | -0.06 | -0.04 | -0.07 | 0.17 | 0.09 |
| その他 | 0.15 | 0.12 | 0.42 | 0.17 | 0.45 | -0.17 | -0.05 |

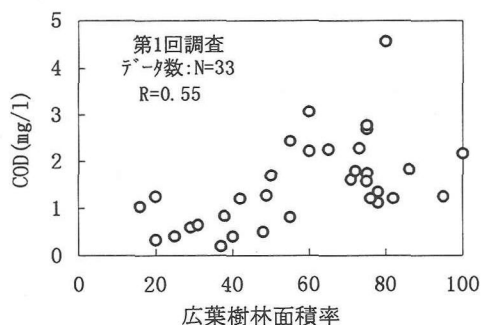


図-1 広葉樹林面積率とCODの関係

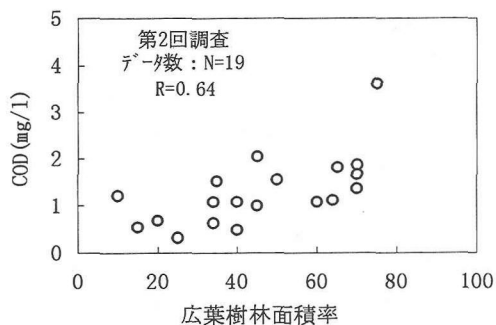


図-2 広葉樹林面積率とCODの関係

土地利用別面積割合は針葉樹林の割合が最も大きく、広葉樹林、混交樹林、野草地、水田、畑、住宅地、工場、湖面の大小順であった。狩野川以南の流域において針葉樹林の割合が大きく、概ね広葉樹林は自然林、針葉樹は人工林とみなすことができる。東北地方の河川の流域、中部地方の手取川、姫川流域において広葉樹林の割合が大きかった。流域内のダム湖の有効貯水容量を流域面積で除した有効貯水深でみると、ダム湖のない流域を含めて0~299mm (平均40.2mm)であった。

c) 年平均水質について

表-7に19ないし26流域についての各水質項目の平均値、標準偏差、最小値、最大値を示す。この表から、SSの値をみると上流域の水質としては意外に高い値であった。これは一部の流域で降雨時の測定値として高い値が得られていたことに影響されていると考えられる。

BODおよびCODについては、SSとは異なる傾向を示し、

1993年の豊水年に比較して1994年の渇水年の方が高かった。これは希釈水量が減少したためと考えられ、全国的に河川のBOD環境基準の適合率が1993年度の77.3%から1994年度の67.9%へと大きく低下していることにも現れている。T-Nについては、豊水年と渇水年で大きな差はなかった。T-Pについては、豊水年に比較して渇水年において高い値を示した。

d) 土地利用と比流量、流出率との関係

土地利用面積割合と最大、豊水、平水、低水、渇水、最小、年平均比流量および年降水量に対するそれぞれの流出率との相関解析を行うとき、北海道の3流域については、1993,1994年で融雪期(4~6月)には年間総流出量の39~56%流出するので、融雪期の影響を除去するため、年平均比流量、流出率は夏から秋にかけて(7~11月)の平均流量および降水量を用いた。また、土地利用面積割合と最大、豊水比流量、流出率との相関解析を行うと

表-6 土地利用別面積の割合

| 河川名 | 観測所名 | 流域面積 | 針葉樹 | 広葉樹 | 混交林 | 野草地 | 水田 | 畑 | 住宅 | 工場 | ダム | ダム湖貯水量 | ダム湖貯水深 |
|------|------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-----------------|--------|
| | | km ² | % | % | % | % | % | % | % | % | % | 千m ³ | mm |
| 忠別川 | 曙橋 | 263.4 | 14.0 | 13.8 | 41.2 | 25.7 | 4.4 | 0.6 | 0.3 | 0.03 | 0.00 | 0 | 0 |
| 美珠川 | 西神楽 | 645.0 | 26.5 | 14.6 | 20.3 | 5.0 | 8.4 | 24.1 | 0.7 | 0.05 | 0.08 | 15955 | 25 |
| 夕張川 | 円山 | 792.4 | 34.6 | 31.6 | 23.2 | 3.0 | 1.1 | 3.4 | 2.4 | 0.45 | 0.82 | 83414 | 105 |
| 役内川 | 川井 | 145.0 | 31.63 | 62.18 | 1.65 | 0.00 | 2.49 | 0.53 | 1.51 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0 |
| 成瀬川 | 安養寺 | 255.0 | 20.04 | 62.07 | 5.55 | 2.70 | 4.65 | 2.25 | 2.74 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0 |
| 横手川 | 横手 | 216.2 | 22.83 | 60.06 | 3.60 | 3.14 | 5.79 | 1.33 | 3.19 | 0.00 | 0.06 | 0 | 0 |
| 吉田川 | 落合 | 197.2 | 20.24 | 44.50 | 7.23 | 0.00 | 21.84 | 1.64 | 3.90 | 0.37 | 0.55 | 8264 | 42 |
| 阿武隈川 | 白河 | 172.4 | 18.58 | 53.61 | 1.29 | 1.30 | 9.61 | 11.52 | 3.42 | 0.40 | 0.47 | 9919 | 58 |
| 釜無川 | 船山橋 | 484.2 | 37.41 | 18.10 | 20.64 | 3.25 | 8.79 | 8.31 | 2.90 | 0.61 | 0.00 | 0 | 0 |
| 笛吹川 | 桃林橋 | 916.3 | 31.14 | 22.98 | 11.88 | 4.44 | 2.24 | 19.45 | 7.54 | 0.27 | 0.10 | 19950 | 22 |
| 姫川 | 山本 | 698.0 | 5.31 | 68.36 | 9.64 | 9.76 | 5.66 | 0.51 | 0.75 | 0.00 | 0.00 | 3380 | 5 |
| 手取川 | 中島 | 732.0 | 6.85 | 74.64 | 10.00 | 5.82 | 1.51 | 0.10 | 0.24 | 0.00 | 0.97 | 218763 | 299 |
| 狩野川 | 大仁 | 332.0 | 58.32 | 22.13 | 4.96 | 2.00 | 5.79 | 2.52 | 4.24 | 0.04 | 0.00 | 0 | 0 |
| 雲出川 | 大仰 | 304.2 | 77.71 | 4.72 | 2.32 | 0.26 | 9.53 | 2.08 | 3.21 | 0.00 | 0.26 | 20078 | 66 |
| 江の川 | 吉田 | 400.3 | 56.50 | 22.74 | 1.28 | 1.01 | 14.91 | 0.38 | 2.56 | 0.04 | 0.70 | 43700 | 109 |
| 馬洗川 | 南畑敷 | 679.5 | 55.99 | 14.96 | 2.27 | 0.27 | 22.80 | 1.50 | 2.12 | 0.07 | 0.04 | 1490 | 2 |
| 重信川 | 山之内 | 55.3 | 83.49 | 12.21 | 1.69 | 2.46 | 0.00 | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 821 | 15 |
| 表川 | 表川 | 67.1 | 70.53 | 3.57 | 1.83 | 0.58 | 16.03 | 6.23 | 1.22 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0 |
| 石手川 | 湯渡 | 105.4 | 48.36 | 3.92 | 32.13 | 0.00 | 1.56 | 10.90 | 2.82 | 0.00 | 0.47 | 10740 | 102 |
| 渡川 | 大正 | 942.0 | 77.56 | 15.71 | 2.38 | 1.30 | 2.57 | 0.47 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0 |
| 後川 | 秋田 | 145.7 | 84.32 | 0.81 | 6.69 | 0.00 | 6.34 | 0.26 | 1.58 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0 |
| 中筋川 | 磯ノ川 | 93.9 | 60.59 | 16.78 | 6.16 | 0.72 | 13.34 | 1.06 | 1.36 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0 |
| 彦山川 | 中島 | 326.0 | 45.23 | 5.25 | 13.80 | 2.53 | 19.56 | 3.36 | 9.29 | 0.91 | 0.04 | 2450 | 8 |
| 犬鳴川 | 宮田橋 | 123.0 | 57.44 | 8.27 | 10.17 | 0.30 | 16.88 | 1.26 | 3.42 | 1.87 | 0.83 | 17638 | 143 |
| 玖珠川 | 小ヶ瀬 | 540.5 | 43.46 | 18.18 | 1.67 | 15.42 | 15.58 | 4.11 | 1.49 | 0.08 | 0.00 | 2843 | 5 |
| 菊池川 | 分田 | 554.0 | 33.18 | 10.87 | 4.19 | 4.92 | 21.28 | 18.64 | 6.77 | 0.15 | 0.00 | 0 | 0 |
| | 平均 | 391.8 | 43.1 | 26.4 | 9.5 | 3.7 | 9.3 | 4.9 | 2.7 | 0.2 | 0.2 | 17669.4 | 38.7 |
| | 標準偏差 | 275.9 | 23.7 | 22.9 | 10.3 | 5.7 | 7.2 | 6.7 | 2.3 | 0.4 | 0.3 | 44848.5 | 67.9 |
| | 最小 | 55.3 | 5.3 | 0.8 | 1.3 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 最大 | 942.0 | 84.3 | 74.6 | 41.2 | 25.7 | 22.8 | 24.1 | 9.3 | 1.9 | 1.0 | 218763.0 | 298.9 |

き、北海道の3流域を除外した。表-8、表-9 に求めた単相関係数を示す。

針葉樹林率、広葉樹林率および混交樹林率と湧水流出率の関係をみると、相関係数は豊水年の1993年で-0.43, 0.29, 0.34, 湧水年の1994年で-0.20, 0.07, 0.31であり、-0.43を除いて有意な関係が得られなかったが、混交樹林が広葉樹林より強い正の相関を示した。

針葉樹林率あるいは広葉樹林率と低水流出の関係を見ると1993年で-0.55, 0.56, 1994年で-0.43, 0.36となっており、針葉樹林とは危険率5%で有意の負の相関、広葉樹林とは正の相関を示した。また、同じく混交樹林率との相関係数がそれぞれ0.24, 0.20で、正の相関になっている。これは広葉樹林、混交樹林では落葉・落枝等によりA₀層が発達し、森林内降雨を保水する機能が発達していることを示唆していると考えられる(図-3、図-4)。

針葉樹林率あるいは広葉樹林率と年平均流出率の関係をみると、1993年で-0.50, 0.73, 1994年で-0.50, 0.66となっており、いずれも、危険率5%で有意な相関関係が得られた。すなわち、このことは針葉樹林の方が蒸発散量が大きい傾向にあることを示唆している(図-5、図-6)。

豊水年の1993年について、針葉樹林率、広葉樹林率および混交樹林率と最大流出率との関係を図-7、図-8、図-9に示す。これらの図から相関係数は0.50, -0.32, -0.41であり、針葉樹林より広葉樹林、混交樹林の方が見かけ上最大流出率を抑制する傾向が伺える。

ダム貯水深と豊水年の1993年における最大流出率との相関係数は-0.10, 湧水年の1994年における低水流出率との相関係数は0.67で、ダムは下流の河川流量の安定化に貢献していることがわかる。一方、同じくダム面積率との関係をみると、それぞれ-0.20, 0.45で、同じことはいえる。

一方、各流域年平均流出率における年蒸発量に与える気温の影響を考慮するため、気温、針葉樹林、広葉樹林および混交樹林面積率と年平均流出率との偏相関解析を行った。これらの結果(表-10)から気温、針葉樹林率と平均流出率は負の相関、広葉樹林と年平均流出率は正の相関の傾向が認められ、単相関解析と同様の結果となる。特に湧水年では気温による平均流出率への影響が大きい。気温、針葉樹林率が高くなると流域からの蒸発散量が大きくなり、その結果、河川流量の減少につながる。

表-7 解析対象流域の平均水質

| 河川名 | 観測所名 | 流域面積 km ² | 1993年度 (豊水年) | | | | | | 1994年度 (渇水年) | | | | | |
|-------|--------|-------------------------|----------------------|------|------|------|------|-------|----------------------|------|------|------|------|-------|
| | | | 年平均 | BOD | COD | SS | T-N | T-P | 年平均 | BOD | COD | SS | T-N | T-P |
| | | | Q(m ³ /s) | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | Q(m ³ /s) | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l |
| 忠別川 | 東神楽橋 | 263.4 | 14.7 | 0.34 | 1.63 | 4.5 | 0.22 | 0.021 | 17.3 | 0.43 | 1.49 | 6.5 | 0.13 | 0.250 |
| 美瑛川 | 美瑛緑橋* | 645.0 | 23.0 | 0.23 | 1.79 | 15.9 | | | 27.0 | 0.28 | 1.45 | 16.8 | | |
| 夕張川 | 馬追橋* | 792.4 | 22.2 | 0.90 | 4.21 | 27.8 | 0.55 | 0.045 | 29.0 | 0.65 | 4.26 | 61.0 | 0.57 | 0.065 |
| 役内川 | 酒蒔橋** | 145.0 | 14.0 | 1.51 | 1.48 | 5.8 | 0.44 | 0.015 | 8.9 | 0.54 | 1.33 | 7.3 | 0.48 | 0.014 |
| 成瀬川 | 成瀬川橋 | 255.0 | 21.4 | 0.88 | 1.49 | 7.3 | 0.36 | 0.015 | 17.4 | 0.83 | 1.28 | 5.3 | 0.28 | 0.012 |
| 横手川 | 藤木上橋** | 216.2 | 13.8 | 1.93 | 3.81 | 17.9 | 1.41 | 0.088 | 8.5 | 1.73 | 3.92 | 16.4 | 1.54 | 0.101 |
| 吉田川 | 落合* | 197.2 | 7.8 | 1.74 | 5.04 | 9.8 | 1.00 | 0.072 | 5.3 | 3.58 | 5.73 | 12.8 | 1.42 | 0.101 |
| 阿武隈川 | 須賀川** | 172.4 | 9.0 | 1.53 | 3.35 | 9.8 | 2.11 | 0.115 | 4.2 | 1.74 | 3.29 | 7.6 | 1.66 | 0.064 |
| 釜無川 | 船山橋 | 484.2 | 9.2 | 1.10 | 2.15 | 14.8 | | | 7.8 | 1.75 | 2.07 | 7.8 | | |
| 笛吹川 | 桃林橋 | 916.3 | 24.1 | 2.73 | 3.75 | 16.3 | | | 17.0 | 3.35 | 4.56 | 15.2 | | |
| 姫川 | 山本 | 698.0 | 61.5 | 0.55 | 2.15 | 22.9 | 0.40 | 0.048 | 22.3 | 0.55 | 2.15 | 22.9 | 0.40 | 0.048 |
| 手取川 | 白山合口堰堤 | 732.0 | 96.6 | 0.48 | | 30.1 | 0.60 | 0.031 | 55.9 | 0.48 | | 30.1 | 0.60 | 0.031 |
| 狩野川 | 大仁橋 | 332.0 | 24.5 | 1.03 | 1.38 | 2.7 | 0.66 | 0.048 | 14.4 | 1.13 | 1.74 | 2.5 | 0.80 | 0.041 |
| 雲出川 | 大仰橋 | 304.2 | 16.7 | 0.72 | 2.28 | 4.5 | | | 8.9 | 0.83 | 2.72 | 8.3 | | |
| 江の川 | 吉田 | 400.3 | 15.0 | 0.98 | 2.69 | 7.8 | 0.72 | 0.044 | 4.5 | 0.99 | 3.24 | 10.4 | 0.60 | 0.051 |
| 馬洗川 | 南畑敷 | 679.5 | 27.9 | 1.14 | 3.47 | 7.8 | 0.72 | 0.049 | 7.4 | 1.30 | 5.39 | 13.9 | 0.60 | 0.064 |
| 重信川 | 拝志大橋** | 55.3 | 4.3 | 0.89 | 1.87 | 3.7 | | | 1.0 | 0.97 | 1.64 | 2.0 | | |
| 表川 | 拝志大橋** | 67.1 | 4.3 | 0.89 | 1.87 | 3.7 | | | 0.9 | 1.10 | 1.94 | 2.3 | | |
| 石手川 | 市坪 | 105.4 | 3.7 | 5.43 | 6.63 | 11.0 | 3.73 | 0.351 | 0.5 | 6.94 | 9.04 | 7.0 | 3.90 | 0.477 |
| 渡川 | 具同** | 942.0 | 69.0 | 0.82 | 1.58 | 3.8 | 0.33 | 0.018 | 36.8 | 0.89 | 1.75 | 2.6 | 0.23 | 0.018 |
| 後川 | 後川橋* | 145.7 | 7.0 | 0.63 | 1.14 | 4.3 | | | 4.2 | 0.68 | 1.08 | 1.5 | | |
| 中筋川 | 山路橋** | 93.9 | 8.3 | 1.13 | 2.49 | 9.1 | 0.62 | 0.054 | 4.1 | 1.34 | 2.58 | 7.4 | 0.62 | 0.063 |
| 彦山川 | 中島* | 326.0 | 18.2 | 1.73 | 3.60 | 7.1 | 1.56 | 0.071 | 5.4 | 2.68 | 4.78 | 12.6 | 1.58 | 0.102 |
| 大鳴川 | 春日橋* | 123.0 | 5.6 | 2.22 | 3.15 | 7.8 | 2.03 | 0.074 | 2.4 | 2.03 | 3.43 | 5.4 | 2.37 | 0.088 |
| 玖珠川 | 天ヶ瀬 | 540.5 | 38.0 | 1.05 | 1.89 | 4.3 | 0.67 | 0.041 | 4.2 | 0.90 | 2.28 | 6.7 | 0.60 | 0.054 |
| 菊池川 | 山鹿* | 554.0 | 50.9 | 1.15 | 1.88 | 6.9 | 1.98 | 0.093 | 12.1 | 1.82 | 3.04 | 9.0 | 1.75 | 0.112 |
| サンプル数 | | 26 | 26 | 26 | 25 | 26 | 19 | 19 | 26 | 26 | 25 | 26 | 19 | 19 |
| 平均値 | | 391.8 | 23.5 | 1.30 | 2.67 | 10.3 | 1.06 | 0.068 | 12.6 | 1.52 | 3.05 | 11.6 | 1.11 | 0.080 |
| 標準偏差 | | 275.9 | 22.7 | 1.02 | 1.31 | 7.5 | 0.89 | 0.074 | 12.9 | 1.39 | 1.83 | 12.1 | 0.90 | 0.101 |
| 最小値 | | 55.3 | 3.7 | 0.23 | 1.14 | 2.7 | 0.22 | 0.015 | 0.5 | 0.28 | 1.08 | 1.5 | 0.23 | 0.012 |
| 最大値 | | 942.0 | 96.6 | 5.43 | 6.63 | 30.1 | 3.73 | 0.351 | 55.9 | 6.94 | 9.04 | 61.0 | 3.90 | 0.477 |

注: 流量観測点と水質調査地点は、かゝなし:一致・ほぼ一致, *:やや離れ(支流混入なし), **:離れ(支流混入あり).

表-8 1993年水文指標と土地利用面積率の相関係数

| 変数 | 流域面積 | デ-ータ数 26 有意確率 (網掛け表示) p<0.0500 | | | | | | | | | |
|---------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 針葉樹林 | 広葉樹林 | 混交林 | 野草地 | 水田 | 畑 | 住宅 | 工場 | ダム | ダム貯水深 |
| 最大比流量** | 0.10 | 0.55 | -0.43 | -0.42 | 0.09 | 0.19 | -0.18 | -0.13 | -0.24 | -0.17 | -0.15 |
| 豊水比流量** | 0.15 | -0.54 | 0.74 | -0.22 | 0.41 | -0.39 | -0.24 | -0.30 | -0.20 | 0.35 | 0.28 |
| 平水比流量 | 0.05 | -0.40 | 0.58 | -0.13 | 0.15 | -0.26 | -0.17 | -0.18 | -0.12 | 0.40 | 0.74 |
| 低水比流量 | -0.03 | -0.41 | 0.57 | -0.04 | 0.08 | -0.32 | -0.16 | -0.17 | -0.04 | 0.40 | 0.80 |
| 渇水比流量 | -0.16 | -0.33 | 0.34 | 0.04 | 0.19 | -0.18 | -0.04 | -0.04 | -0.30 | 0.14 | 0.49 |
| 最小比流量 | -0.10 | -0.22 | 0.29 | -0.06 | 0.07 | -0.21 | 0.08 | -0.09 | -0.43 | 0.15 | 0.28 |
| 年平均比流量* | -0.06 | -0.14 | 0.47 | -0.40 | 0.09 | -0.11 | -0.33 | -0.21 | -0.17 | 0.31 | 0.16 |
| 最大流出率** | -0.01 | 0.50 | -0.32 | -0.41 | -0.09 | 0.15 | -0.27 | -0.18 | -0.16 | -0.20 | -0.10 |
| 豊水流出率** | 0.11 | -0.66 | 0.86 | -0.12 | 0.31 | -0.48 | 0.20 | -0.30 | -0.03 | 0.22 | 0.13 |
| 平水流出率 | 0.06 | -0.58 | 0.63 | 0.18 | 0.37 | 0.46 | -0.15 | -0.28 | -0.11 | 0.42 | 0.74 |
| 低水流出率 | -0.03 | -0.55 | 0.56 | 0.20 | 0.36 | -0.44 | -0.12 | -0.27 | -0.09 | 0.38 | 0.76 |
| 渇水流出率 | -0.17 | -0.43 | 0.29 | 0.34 | 0.49 | -0.28 | -0.06 | -0.23 | -0.30 | 0.05 | 0.34 |
| 最小流出率 | -0.13 | -0.35 | 0.29 | 0.17 | 0.30 | -0.28 | 0.09 | -0.23 | -0.44 | 0.00 | 0.11 |
| 年平均流出率* | -0.06 | -0.50 | 0.73 | -0.06 | 0.33 | -0.39 | -0.34 | -0.38 | -0.18 | 0.30 | 0.08 |
| 豊水/渇水 | 0.25 | -0.04 | 0.11 | -0.13 | 0.28 | -0.05 | -0.15 | -0.33 | -0.08 | 0.21 | -0.29 |
| H5豊/H6渇 | -0.07 | -0.18 | 0.37 | -0.14 | 0.13 | -0.13 | -0.20 | -0.15 | 0.02 | -0.43 | -0.35 |

** : デ-ータ数23, 北海道3流域を除く. *: 北海道3流域は(7~11月)のデ-ータ.

表-9 1994年水文指標と土地利用面積率の相関係数

| 変数 | 流域面積 | データ数: 26 有意確率 (網掛け表示) p<0.0500 | | | | | | | | | |
|---------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 針葉樹 | 広葉樹 | 混交林 | 野草地 | 水田 | 畑 | 住宅 | 工場 | ダム | ダム貯水深 |
| 最大比流量** | -0.05 | 0.35 | -0.06 | -0.26 | -0.30 | -0.26 | -0.31 | -0.16 | 0.36 | -0.03 | -0.09 |
| 豊水比流量** | 0.03 | -0.47 | 0.69 | -0.13 | -0.02 | -0.42 | -0.21 | -0.22 | -0.05 | 0.39 | 0.44 |
| 平水比流量 | 0.03 | -0.48 | 0.56 | 0.13 | 0.23 | -0.40 | -0.15 | -0.22 | -0.28 | 0.45 | 0.82 |
| 低水比流量 | 0.02 | -0.43 | 0.41 | 0.19 | 0.33 | -0.40 | -0.02 | -0.14 | -0.30 | 0.34 | 0.68 |
| 濁水比流量 | 0.03 | -0.24 | 0.12 | 0.28 | 0.39 | -0.35 | 0.06 | -0.08 | -0.24 | 0.24 | 0.45 |
| 最小比流量 | -0.05 | -0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.08 | -0.27 | 0.13 | 0.05 | -0.21 | 0.01 | 0.11 |
| 年平均比流量* | 0.00 | -0.42 | 0.56 | 0.12 | 0.35 | -0.49 | -0.27 | -0.37 | -0.25 | 0.27 | 0.14 |
| 最大流出率** | -0.08 | 0.25 | -0.05 | -0.22 | -0.28 | -0.20 | -0.21 | -0.06 | 0.64 | -0.10 | -0.04 |
| 豊水流出率** | 0.06 | -0.53 | 0.66 | -0.09 | -0.05 | -0.34 | -0.09 | -0.13 | 0.16 | 0.32 | 0.38 |
| 平水流出率 | 0.02 | -0.49 | 0.50 | 0.18 | 0.25 | -0.32 | -0.13 | -0.15 | -0.16 | 0.51 | 0.80 |
| 低水流出率 | -0.04 | -0.43 | 0.36 | 0.24 | 0.39 | -0.32 | -0.04 | -0.11 | -0.20 | 0.45 | 0.67 |
| 濁水流出率 | -0.13 | -0.20 | 0.07 | 0.31 | 0.44 | -0.26 | -0.05 | -0.16 | -0.12 | 0.47 | 0.43 |
| 最小流出率 | -0.23 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.10 | -0.19 | 0.00 | -0.04 | -0.09 | 0.24 | 0.09 |
| 年平均流出率* | -0.02 | -0.50 | 0.66 | 0.03 | 0.25 | -0.40 | -0.27 | -0.26 | -0.05 | 0.29 | 0.06 |
| 豊水/濁水 | 0.17 | -0.08 | 0.04 | 0.07 | -0.09 | 0.25 | -0.18 | 0.10 | 0.06 | -0.41 | -0.28 |

** : データ数23, 北海道3流域を除く。* : 北海道3流域は (7~11月) のデータ。

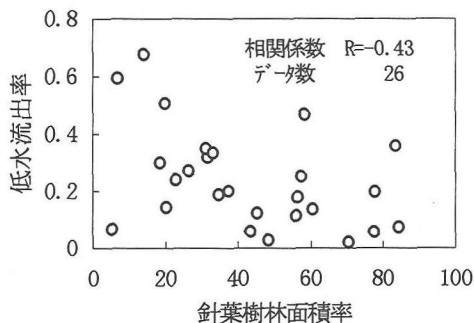


図-3 樹林面積率と1994年低水流出率の関係

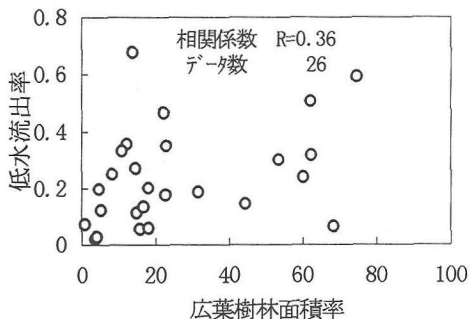


図-4 樹林面積率と1994年低水流出率の関係

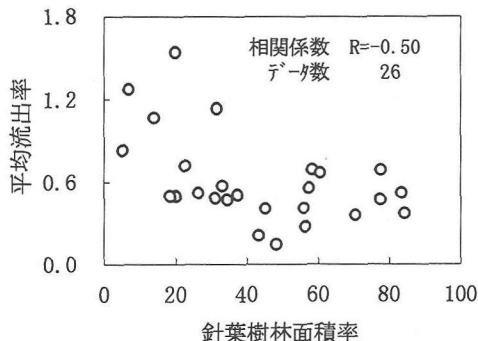


図-5 樹林面積率と1994年平均流出率の関係

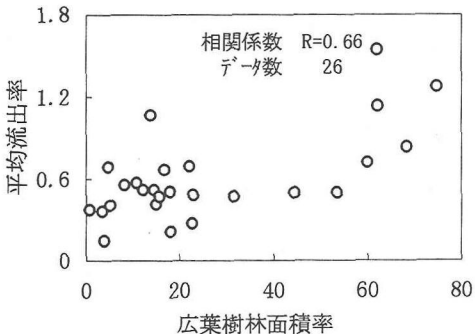


図-6 樹林面積率と1994年平均流出率の関係

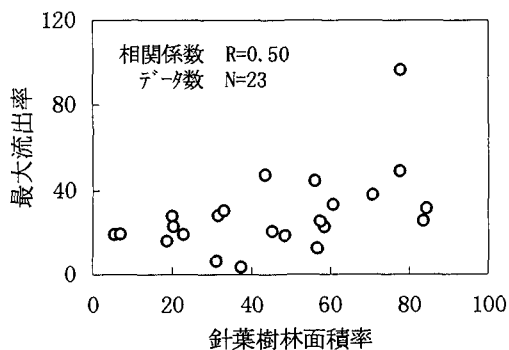


図-7 樹林面積率と1993年最大流出率の関係

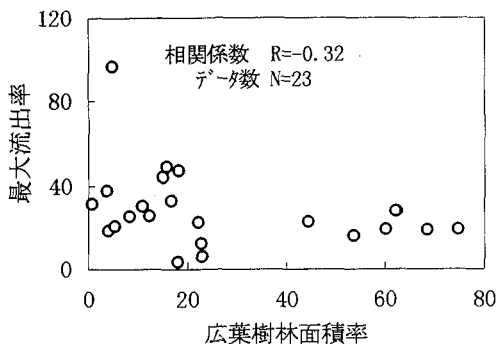


図-8 樹林面積率と1993年最大流出率の関係

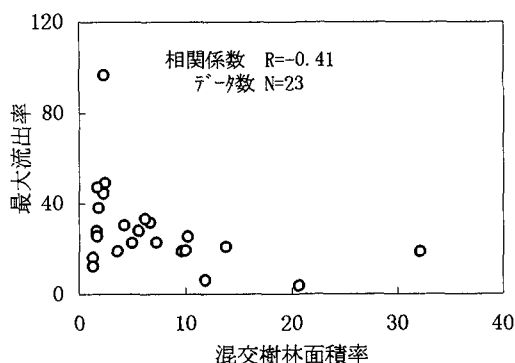


図-9 樹林面積率と1993年最大流出率の関係

表-10 流出率と樹林面積率との偏相関係数

| 変数名 | データ数: 11 | | *: データ数: 26 | |
|------------|----------|--------|-------------|--------|
| | 気温 | 針葉樹 | 広葉樹 | 混交林 |
| 平均流出率(93)* | -0.179 | -0.171 | 0.489 | 0.255 |
| 平均流出率(94)* | -0.685 | -0.113 | 0.015 | 0.020 |
| 最大流出率(93) | | 0.190 | -0.149 | -0.482 |
| 最大流出率(94) | | 0.221 | -0.084 | -0.241 |
| 低水流出率(93) | | -0.025 | 0.643 | 0.567 |
| 低水流出率(94) | | -0.405 | 0.113 | 0.377 |
| 濁水流出率(93) | | -0.14 | 0.334 | 0.491 |
| 濁水流出率(94) | | -0.123 | 0.068 | 0.512 |

ことを示唆している。また、ダムによる人工的な流況調節の影響があるため、ダムが建設されている河川を除外した11河川について、針葉樹林率と相関の高かった気温を除外して、針葉樹林率、広葉樹林率、混交樹林率と濁水流出率、低水流出率、最大流出率との間の偏相関解析を行った。これらの結果(表-10)をみると有意な相関は得られなかったが、単相関解析と同じ結果が認められ、森林面積率による河川流出率への影響が再確認された。

e) 土地利用と水質の関係

土地利用面積割合と水質の関係について、これらの間の単相関係数(表-11、表-12)から考察する。

まず、SSについては針葉樹林率と負の相関、広葉樹林率と正の相関、水田率と負の相関を示した。針葉樹林率あるいは広葉樹林率とSSの相関は有意な相関であるが、北海道と北陸の河川でSS濃度の高いことが影響しており、地質の関係などより慎重な考察が必要である。BODおよびCODについては工場面積率、住宅面積率と正の相関を示した。野草地とは負の相関を示したが、これは野草地が森林限界以上の高山部にあることが多いため、このよ

うな傾向が得られたと考えられる。また、T-Nについては畑地率、住宅面積率、工場面積率との間で、1993年でそれぞれ0.68、0.44、0.59、1994年でそれぞれ0.57、0.42、0.75と正の相関を示した。T-Nについては人為的な影響が比較的大きいといえる。

T-Pについては豊水年の1993年と渇水年の1994年で濃度に大きな差がなく、畑地率、混交樹林面積率、工場面積率との間で、1993年でそれぞれ0.56、0.38、0.34、1994年でそれぞれ0.48、0.42、0.47と正の相関を示した。豊水年ではT-Pと畑地率の相関がもっとも高く、畑地由来の降雨時流出の影響が大きいことが示唆された。また、野草地とは負の相関があった。なお、対象とした流域内には人為的汚染源も存在するので、先の森林流出水水質と植生の関係で見られたような樹種面積率とCOD、TOC等の水質項目との相関傾向は得られなかった。

4. おわりに

本研究では、まず、全国の森林流出水質の分析を行い、森林流域の植生の違いが水質に与える影響について検討

表-11 1993年度(豊水年)水質項目と土地利用面積率, 比流量, ダム有効貯水量との相関係数

| 水質項目 | 年平均比流量 | 有意確率(網掛け表示) p<0.0500 | | | | | | | | | |
|------|--------|----------------------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|
| | | 針葉樹 | 広葉樹 | 混交林 | 野草地 | 水田 | 畑 | 住宅 | 工場 | ダム | ダム貯水量 |
| BOD | -0.31 | 0.00 | -0.14 | 0.25 | -0.33 | -0.08 | 0.23 | 0.37 | 0.55 | -0.07 | -0.25 |
| COD | -0.51 | -0.21 | 0.02 | 0.32 | -0.29 | 0.07 | 0.14 | 0.30 | 0.32 | 0.21 | 0.16 |
| SS | 0.06 | -0.61 | 0.55 | 0.29 | 0.02 | -0.39 | 0.14 | -0.17 | 0.07 | 0.39 | 0.71 |
| T-N | -0.33 | 0.10 | -0.34 | 0.22 | -0.36 | 0.15 | 0.68 | 0.44 | 0.59 | -0.15 | -0.30 |
| T-P | -0.35 | 0.09 | -0.30 | 0.38 | -0.34 | -0.06 | 0.56 | 0.19 | 0.34 | -0.13 | -0.25 |

表-12 1994年度(渇水年)水質項目と土地利用面積率, 比流量, ダム有効貯水量との相関係数

| 水質項目 | 年平均比流量 | 有意確率(網掛け表示) p<0.0500 | | | | | | | | | |
|------|--------|----------------------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| | | 針葉樹 | 広葉樹 | 混交林 | 野草地 | 水田 | 畑 | 住宅 | 工場 | ダム | ダム貯水量 |
| BOD | -0.48 | -0.02 | -0.21 | 0.30 | -0.31 | 0.08 | 0.29 | 0.46 | 0.36 | -0.10 | -0.24 |
| COD | -0.52 | -0.12 | -0.11 | 0.27 | -0.31 | 0.18 | 0.16 | 0.38 | 0.23 | 0.06 | 0.05 |
| SS | 0.24 | -0.67 | 0.57 | 0.10 | 0.11 | -0.09 | 0.12 | -0.07 | -0.20 | 0.10 | 0.68 |
| T-N | -0.54 | 0.12 | -0.33 | 0.25 | -0.38 | 0.15 | 0.57 | 0.42 | 0.75 | -0.10 | -0.28 |
| T-P | -0.50 | 0.14 | -0.36 | 0.42 | -0.36 | -0.04 | 0.48 | 0.20 | 0.47 | -0.13 | -0.16 |

した。次に、河川上流域の植生・土地利用状況および豊水年、渇水年の水文データより森林の水源涵養機能について検討し、以下のような知見を得た。

(1) 全国の水源地質の調査結果から森林流出水 68 サンプルの平均は、TOC $1.30 \pm 0.65 \text{mg/l}$ 、COD $1.20 \pm 0.93 \text{mg/l}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ $0.26 \pm 0.28 \text{mg/l}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ $0.015 \pm 0.030 \text{mg/l}$ 、T-N $0.32 \pm 0.29 \text{mg/l}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ $0.016 \pm 0.018 \text{mg/l}$ 、T-P $0.023 \pm 0.023 \text{mg/l}$ であり、T-P の濃度は表流水より湧水の方が高い傾向があった。この結果から森林流出水が良好な水道水源であることが確認された。

(2) 広葉樹林面積割合と TOC、COD 濃度の間には比較的高い正の相関がみられ、一方、針葉樹林面積割合とそれらの間には負の相関がみられた。

(3) 針葉樹林率あるは広葉樹林率と年平均流出率の単相関および偏相関解析の結果から、針葉樹林の方が水の蒸発散量が大きく、渇水年では気温による年平均流出率への影響が大きいたことが示唆された。

(4) 針葉樹林率、広葉樹林率および混交樹林率と低水流出率の単相関および偏相関解析の結果から、針葉樹林より広葉樹林、混交樹林の方が保水機能が大きいという傾向が得られた。

(5) BOD、COD、T-P の年平均水質については、1993 年の豊水年に比較して 1994 年の渇水年のほうが高い傾向があった。T-N については、豊水年と渇水年で大きな差はみられなかった。BOD、COD については工場面積率、住宅面積率と正の相関を示した。T-N、T-P については畑地率、宅面積率、住宅面積率、工場面積率と正の相関を示した。

謝辞：各水道局関係者、自治体関係者などおよび水質分析にご協力いただいた山本俊美氏に、深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

- 福岡克也：水と緑の経済学，東洋経済新報社，1988。
- 森林と水の研究会：森林と水，治山治水協会，1996。
- 国松孝男，須戸 幹：山地河川の窒素・リン・COD の濃度とその変動特性，一森林(油岳実験流域)からの汚濁負荷流出機構(1) -，農業土木学会論文集，No.166，pp.35-44，1993。
- 国松孝男，須戸 幹：林地からの汚濁負荷とその評価，水環境学会誌，Vol.20，No.12，pp.810-815，1997。
- Osami Kawara, Katsuya Hirayama and Takao Kunimatsu: A STUDY ON POLLUTANT LOADS FROM THE FOREST AND RICE PADDY FIELDS, *Wat. Sci. Tech.*, Vol.33, No.4-5, pp.159-165。
- 橋治国：森林河川における栄養塩類の流出と懸濁物質の役割，水環境学会誌，Vol.16，No.7，pp.450-456，1993。
- 平田健一，村岡浩爾：森林域における物質循環特性の溪流水質に及ぼす影響，土木学会論文集，No.399/II-10，pp.131-140，1988。
- 大類清和，相場芳憲，生原喜久雄：森林小集水域での水質変化の過程，水文・水資源学会誌，Vol.8，No.4，pp.367-381，1995。
- 端野道夫，吉田弘，村岡浩爾：森林モデリングと水収支の評価，水工学論文集，No.36，pp.521-528，1992。
- 村井宏：広葉樹林地，針葉樹林地および草地の水文特性の比較，水利科学，No.211，pp.1-40，1993。
- 竹下敬司：水源涵養と森林，水利科学，No.193，pp.1-19，1990。
- 浮田正夫：流域の水質管理 - 水源水質の保全を中心として，第5回地域シンポジウム中山間地域の振興と環境管理，pp.31-38。

- 13) イリシャット, 浮田正夫: 水源水質に対する自然性負荷の影響に関する基礎的研究, 第 30 回日本水環境学会年会講演集, pp. 506, 1996.
- 14) 建設省河川局: 流量年表, 日本河川協会, 1993 年版, 1994 年版, 1994, 1995.
- 15) 建設省河川局: 雨量年表, 日本河川協会, 1993 年版, 1994 年版, 1994, 1995.
- 16) 建設省河川局: 水質年表, 日本河川協会, 1993 年版, 1994 年版, 1996, 1997.
- 17) 国土地理院: 20 万分の 1 地形図, 国土地理院, 1987~1996.
- 18) 国土地理院: 20 万分の 1 土地利用図, 国土地理院, 1984~1985.
- 19) 日本ダム協会: ダム年鑑, 日本ダム協会, 1993.

(1997. 9. 5 受付)

THE EFFECTS OF FOREST VEGETATION ON THE CHARACTERISTICS OF WATER QUALITY AND THE MANAGEMENT OF WATER RESOURCES IN UPSTREAM AREAS

Elshat RAHIM, Hironori KAKIMOTO, Tsuyoshi IMAI and Masao UKITA

In order to clarify the effects of forest vegetation on the characteristics of river water quality and on the management of water resources, we investigated clean sources upstream for water supply in Japan and analyzed hydrological, geographical and water quality data of first class rivers in contrastive wet 1993 and dry 1994. Significant co-relation between broadleaf forest area and the concentration of COD and TOC was found and vice versa with coniferous forest area. The positive co-relation between broadleaf forest area and the mean runoff ratio was obtained and vice versa with coniferous forest area. Comparing the relation between the low runoff or the maximum runoff ratio in wet year of 1993 and broadleaf or coniferous forest area also, then we concluded that the broad leaf forest could play a better role for water resource management than coniferous forest.