

大木川源流部の土壌・水質調査について

水質課 北島淳二 吉川信治 鶴田優子 山口陽子* 植田千秋**
 (*衛生薬業センター **伊万里保健福祉事務所)

要 旨

河川等の水質汚濁、富栄養化の問題は、森林からの汚濁物質の流出が原因の一つとされており、その負荷量原単位の推定は流域の水質予測を行ううえで大きな課題になっている。そのため、鳥栖市の大木川源流部において、森林集水域の土壌及び河川水について、栄養塩類やイオン成分を測定し、森林から流出する窒素・リンの汚濁負荷量原単位及び流出率を推計した。

キーワード : 森林、汚濁負荷量原単位、窒素、リン、イオン成分

はじめに

河川や湖沼、海域等の水質汚濁、富栄養化の問題は、森林からの汚濁物質の流出が原因の一つとされている。森林から流出する単位面積当たりの汚濁負荷量は、人為的負荷より小さいが、面積が広いと無視できない量となっており、その原単位の推定は流域の水質予測を行ううえで大きな課題になっている。

このような観点から、森林の集水域の土壌及び流出水について、栄養塩類やイオン成分を測定し、汚濁負荷量の変動を解明する基礎資料を得ることを目的として調査を実施した。

佐賀県の森林の特徴として、全森林面積 11 万 ha のうち 7.3 万 ha が人工林で、全国で最も人工林率が高いといわれている¹⁾。また、人工林の植生はスギとヒノキが中心であり、これらの植林地は県内で最も多く見られる森林の植生といえる。今回の調査はこのような地域を試験地として選定した。

なお、本調査は日本側 4 県（福岡、佐賀、長崎、山口）と韓国側 4 市道（釜山広域市、全羅南道、慶尚南道、済州道）で構成する日韓海峡沿岸県市道環境技術交流会議で実施した「集水域の地質・

植生が異なる河川水質調査事業」の一部として実施したものである。

調査方法等

1 試験地

試験地の概要を図-1 に示す。試験地は佐賀県の北東部に位置する鳥栖市河内町を流れる筑後川水系大木川の源流部で、地質は花崗岩を母岩とする褐色森林土壌である²⁾。河内集落の北に位置する桜谷橋より上流は住宅、耕作地が無く、ほとんどが森林であり、人為的な負荷を無視できるため、この集水域を試験地として選定した。試験地の植生はスギ・ヒノキの単層林で樹齢は 30~40 年のものが多い。また、集水面積は 63ha で、標高は最下流の水質基準点である桜谷橋で 320m、最上流で 600m であり、周囲を 400~850 m の山々に囲まれている。

本調査で使用した雨量等のデータは、桜谷橋の南東約 2.2km に位置する河内ダム管理事務所の測定データを使用した。調査期間中の平均気温は 15.0℃であり、過去 9 年間の平均降水量は 2,455mm で、比較的温暖で雨量も多い。

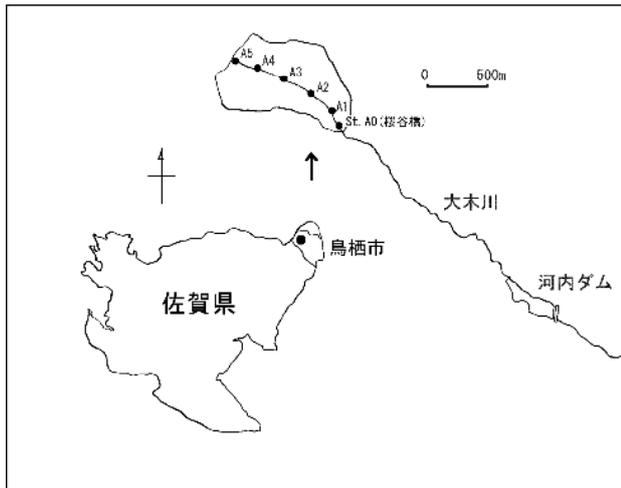


図-1 試験地の概要

2 調査期間及び調査頻度

2004年10月～2005年9月の1年間で調査を実施した。

3 土壌層位の観測

土壌層位は集水域の最下流の水質基準点と最上流の間を、谷筋に沿って標高でおおむね5等分し、その区分点を下流から St.A0～St.A5 として地図に位置を記入し、土壌調査を行った。土壌層位は、落ち葉などを含む堆積腐植層を除去した後、検土

杖を用いて、地表面から深度 30cm ごとに観察して、黒色土壌の層を A 層、黒色でない層を C 層、A 層と C 層の中間層を B 層としそれぞれの層厚を測定した³⁾。

4 土壌試料の採取、調製

水質基準点(St.A0)で土壌試料の採取を行った。A、B 層は検土杖を使用して実施したが、C 層は礫が多く検土杖が使用できなかったため、St.A0 付近の切り通し部分で試料を採取した。土壌試料の採取は、2004年10月、2005年1、4、7月の4回実施した。

土壌試料は、樹木の根などの挟雑物をピンセットで除いた後、1週間ほど風乾し、2mm の篩を通したものを供試試料として⁴⁾、含水率、T-N 及び T-P の測定を行った。分析法は表-1 に示す。

5 土壌溶出試験

風乾土壌 20 g に対して 100ml の割合で脱イオン水を加え、1時間振とうした。3000rpm で20分間遠心分離後、上澄液を 0.45 μm のメンブランフィルターでろ過し、ろ液を分析試料とした。分析項目及び分析法を表-1 に示す。

表-1 土壌、土壌溶出液、河川水の分析項目及び分析法

測定対象	測定項目	測定方法	規格等
土壌	全窒素 (T-N)	サリチル硫酸分解/中和滴定法	土壌養分分析法
土壌	全リン (T-P)	硝酸・硫酸分解/モリブデン青吸光度法	底質調査方法
河川水	水温	水温計	JIS K 0102
河川水、土壌溶出液	水素イオン濃度 (pH)	ガラス電極法	JIS K 0102
河川水、土壌溶出液	電気伝導率 (EC)	電気伝導度計	JIS K 0102
河川水	浮遊物質量 (SS)	ガラス繊維ろ紙法	水質環境基準告示
河川水	化学的酸素要求量 (COD)	COD _{Mn}	JIS K 0102
河川水、土壌溶出液	アンモニア性窒素 (NH ₄ ⁺ -N)	インドフェノール青吸光度法	JIS K 0102
河川水、土壌溶出液	亜硝酸性窒素 (NO ₂ ⁻ -N)	ナフチルエチレンジアミン吸光度法	JIS K 0102
河川水、土壌溶出液	硝酸性窒素 (NO ₃ ⁻ -N)	Cu-Cd還元ナフチルエチレンジアミン吸光度法	JIS K 0102
河川水、土壌溶出液	リン酸態リン (PO ₄ ³⁻ -P)	モリブデン青 (アスコルビン酸) 吸光度法	JIS K 0102
河川水、土壌溶出液	カルシウムイオン (Ca ²⁺)	イオンクロマトグラフ法	—
河川水、土壌溶出液	マグネシウムイオン (Mg ²⁺)	イオンクロマトグラフ法	—
河川水、土壌溶出液	ナトリウムイオン (Na ⁺)	イオンクロマトグラフ法	JIS K 0102
河川水、土壌溶出液	カリウムイオン (K ⁺)	イオンクロマトグラフ法	JIS K 0102
河川水、土壌溶出液	硫酸イオン (SO ₄ ²⁻)	イオンクロマトグラフ法	JIS K 0102
河川水、土壌溶出液	塩化物イオン (Cl ⁻)	イオンクロマトグラフ法	JIS K 0102
河川水	重炭酸イオン (HCO ₃ ⁻)	滴定法	衛生試験法
河川水、土壌溶出液	溶解性鉄 (S-Fe)	フレイム原子吸光法	JIS K 0102
河川水、土壌溶出液	溶解性アルミニウム (S-Al)	ICP質量分析法	上水試験方法
河川水、土壌溶出液	溶性ケイ酸 (SiO ₂)	モリブデン黄による吸光度法	上水試験方法
河川水	河川流量	流量計	—

6 水質試験

水質試料の採取及び流量の測定を2004年10、12月、2005年1、3、4、7、8、9月に実施した。河川水を流心付近で底質を巻き上げないように採水し、溶解性成分分析用試料は採取後、速やかに0.45 μ mのメンブランフィルターでろ過した。水質試料の分析項目及び分析法を表-1に示す。

7 降下物負荷量

降下物中の窒素・リン負荷量は、既存のデータがなかったため、河内ダム管理事務所に雨水採取器を設置して、概ね1ヶ月ごとに雨水中のT-N、T-Pの総量を実測し、単位面積当たりの降下物量に換算して、その合計から調査期間中の降下物負荷量を推計した。

調査結果及び考察

1 土壌層位

試験地の土壌層位の調査結果を図-2に示す。St.A0での層厚は、A層が20cm、B層は55cmであり、その下部は深度90cm以上までC層であることが推測された。また、St.A1~5での層厚はA層が20~25cm、B層が18~57cmとなっていた。

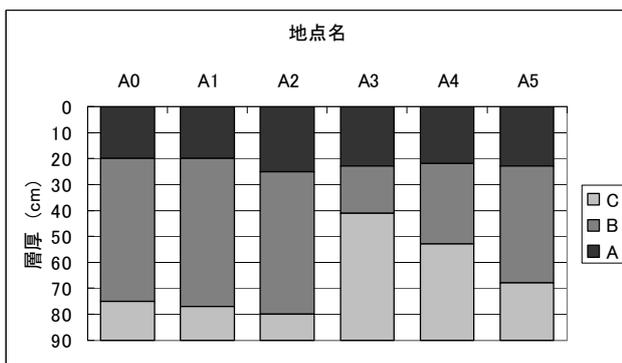


図-2 土壌層位調査結果

2 土壌分析結果

土壌試料の分析結果を表-2に示す。T-N含有量についてはA層>B層>C層となっており、上層ほど含有量が多い傾向が見られた。T-P含有量もほぼ同様の傾向があったが、各層間の差は小さかった。

土壌試料の溶出試験結果を表-3に示す。溶出試

験でも、窒素及びリンでA層>B層>C層の傾向が見られた。窒素成分の内訳は平均値で見ると各層ともNO₂-Nはほとんど検出されず、24~31%がNH₄-Nで残りは全てNO₃-Nであった。また、A層>B層>C層の順にNO₃-Nの比率が高かった。なお、2005年4月採取の試料では、各層でNH₄-Nの比率が56~59%となっており、他の時期とは異なる傾向となっていた。リン成分では各層のT-P含有量が、比較的差が少なかったのに対し、溶出試験ではA層>B層>C層の順でPO₄-P濃度が大きく異なっており、下層ほど水溶性の低い状態でリン成分が存在していることが推測された。

その他の成分では、Ca²⁺がA層>B層>C層の傾向が見られた。K⁺、SO₄²⁻はC層がもっとも高濃度となった。Mg²⁺、Na⁺、Cl⁻は各層間の差が少なかった。

S-Fe及びS-AlはB層が最も高く、C層が極端に低い結果となった。これは、試験地が比較的温暖なため、母岩の風化や有機物の分解が比較的速く、赤黄色土的なFe、Alに富んだ土壌の生成作用の影響を受け、多雨のためのFe、Alの下降作用でB層へ集積したのではないかと推測されるが、この作用が過去ものか、または現在進行中であるかについては、今回の調査の範囲では不明である³⁾。

3 河川水調査結果

河川流量は水路の断面積に流速を乗じて算出した。St.A0における調査期間内の水温及び流量の平均値を表-4に、流量の変化を図-3に示す。流量はこの地域で観測された雨量とほぼ同様の変動をしており2004年10月が最も多く、次いで2005年7月が多かった。

河川水の水質測定結果の平均値を表-4に、測定結果の変動を図-4(1)、(2)に示す。なお、NH₄-N、NO₂-N、S-Fe及びS-Alについてはほとんど定量下限値未満で推移し、変動が少ないためグラフを省略した。

pH及びECについては、年間を通じてあまり変化は見られなかったが、ECは河川流量の多い7月に低下した。SS及びCODは、流量と同様の変動をしており、流量の増加に伴う底面等からのSS

分の巻き上げによる影響ではないかと思われる。窒素成分は、NO₃-Nは0.65~0.90mg/Lの範囲で推移したが、NH₄-N及びNO₂-Nは、ほとんど検出されなかった。PO₄-Pは0.021~0.025mg/Lの範囲で推移し、年間を通じての変動は少なかった。

溶解性無機態窒素 (DIN) 及び溶解性無機態リン (DIP) を次式により定義した場合のDIN/DIP比は30となり、湖沼の植物プランクトンの増殖

に関する窒素/リン比として評価するとリン制限であると判断される。

$$DIN = NH_4-N + NO_2-N + NO_3-N$$

$$DIP = PO_4-P$$

Ca²⁺等の陽イオン成分、SO₄²⁻等の陰イオン成分及びSiO₂についても、あまり変動は見られなかった。

表-2 土壌分析結果

土壌層位	項目	含水率(%)	T-N (mg/g·dry)	T-P (mg/g·dry)
A層	平均	3.0	2.0	0.67
	標準偏差	0.7	0.5	0.06
B層	平均	1.8	1.0	0.61
	標準偏差	0.4	0.1	0.04
C層	平均	2.6	0.7	0.53
	標準偏差	0.6	0.2	0.07

表-3 土壌溶出試験結果

土壌層位	項目	pH	EC (mS/m)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)
A層	平均	4.9	3.7	0.26	<0.02	1.0	0.065	2.9	0.4
	標準偏差	0.1	0.7	0.20	—	0.58	0.043	0.9	0.1
B層	平均	5.2	2.4	0.21	<0.02	0.71	0.028	1.7	0.2
	標準偏差	0.1	0.3	0.03	—	0.45	0.005	0.2	0.1
C層	平均	4.8	3.3	0.12	<0.02	0.26	<0.001	1.1	0.3
	標準偏差	0.1	0.6	0.08	—	0.18	—	0.4	0.1

土壌層位	項目	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	S-Fe (mg/L)	S-Al (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)
A層	平均	1.1	1.6	2.5	0.7	1.1	1.9	5
	標準偏差	0.6	1.1	0.8	0.2	0.54	0.51	2
B層	平均	0.8	1.0	2.3	0.6	2.3	2.7	7
	標準偏差	0.2	0.1	0.5	0.2	1.6	1.6	2
C層	平均	0.8	2.5	6.0	0.9	<0.05	0.06	5
	標準偏差	0.4	1.9	2.4	0.2	—	0.01	1

表-4 河川水分析結果

項目	水温(°C)	流量 (m ³ /h)	pH	EC (mS/m)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)
平均	13.1	162	7.5	7.2	6	1.8	<0.01	<0.02	0.73	0.024
標準偏差	5.4	53	0.1	0.1	5	1.0	—	—	0.08	0.002

項目	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	S-Fe (mg/L)	S-Al (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)
平均	5.5	1.4	5.9	0.7	3.4	4.2	27	<0.05	<0.01	22
標準偏差	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	1	—	—	2

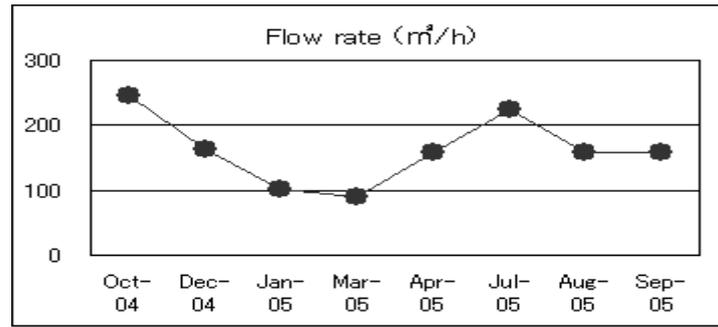


図-3 河川流量の推移

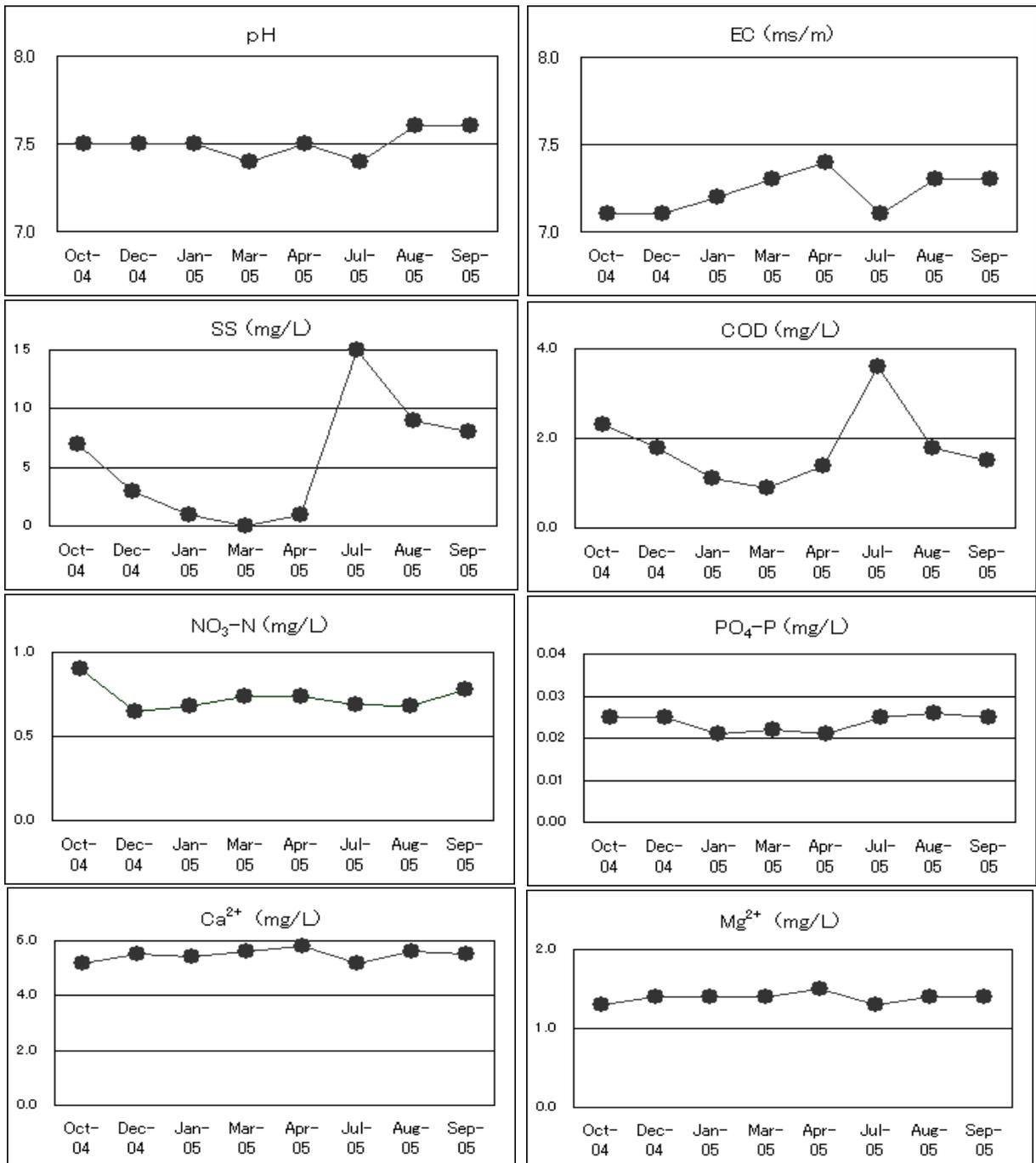


図-4(1) 河川水質の推移

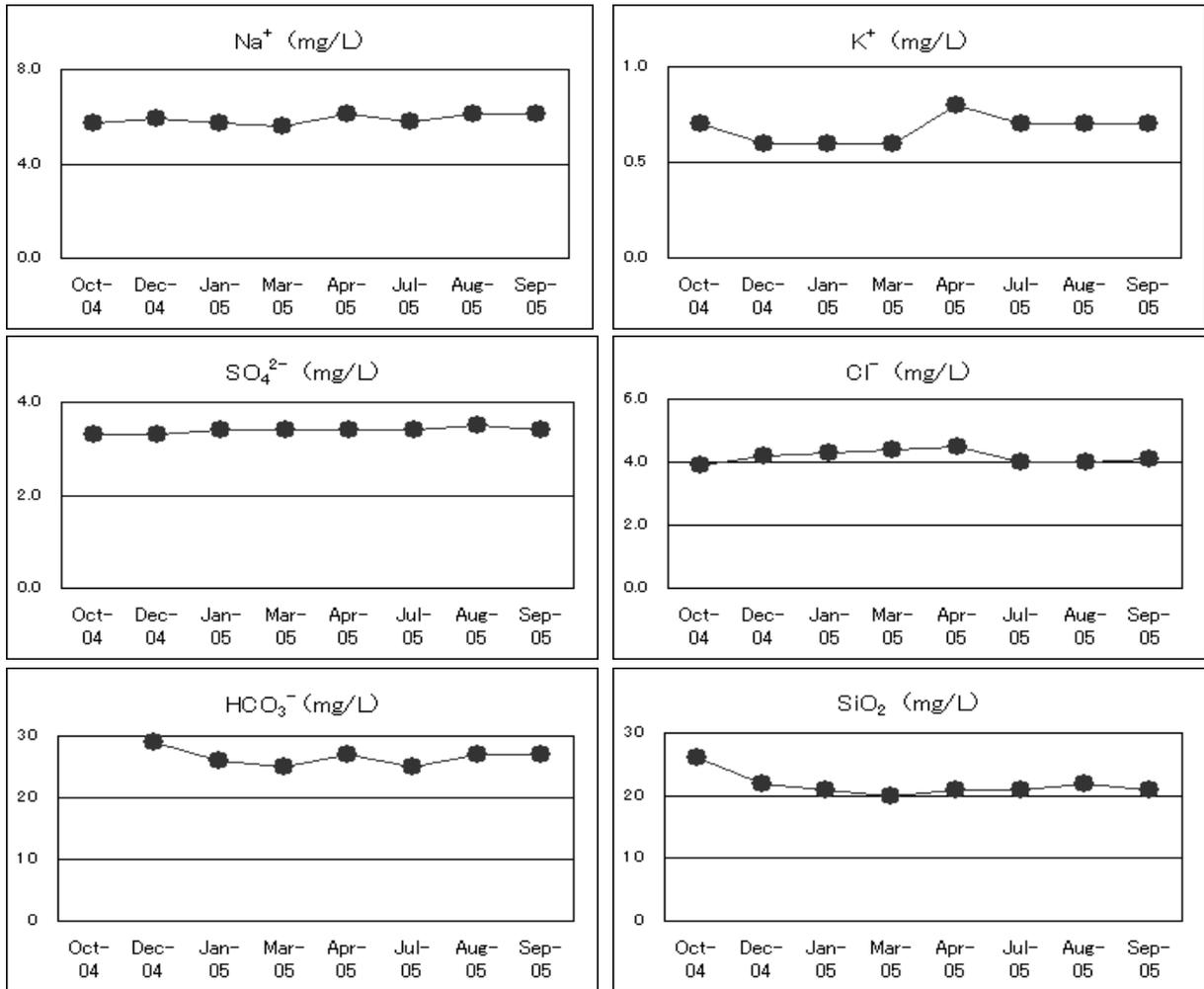


図-4(2) 河川水質の推移

河川水の年間平均値のヘキサダイアグラム及び測定ごとのトリリニアダイアグラムを図-5及び図-6に示す。ヘキサダイアグラムから、全ての成分が 0.5meq/L 以下で比較的溶存成分が少なく、陽イオンでは Mg²⁺がやや少なく、陰イオンでは

HCO₃⁻が最も多いこと、また、トリリニアダイアグラムからは、この河川水が Ca(HCO₃)₂型で一般的な淡水の組成を持っていることが判明した⁶⁾。

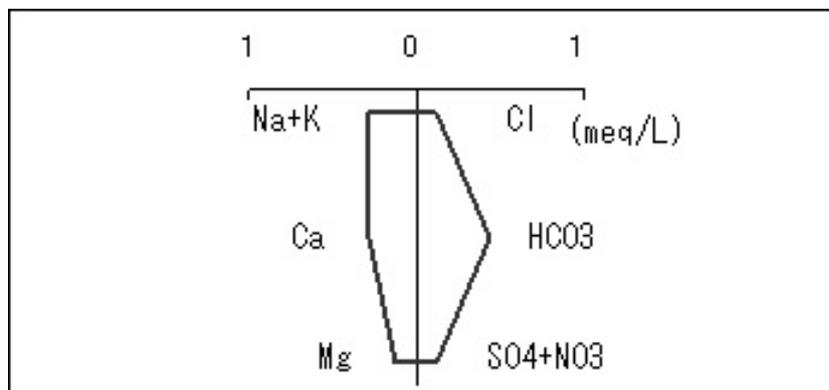


図-5 河川水のヘキサダイアグラム

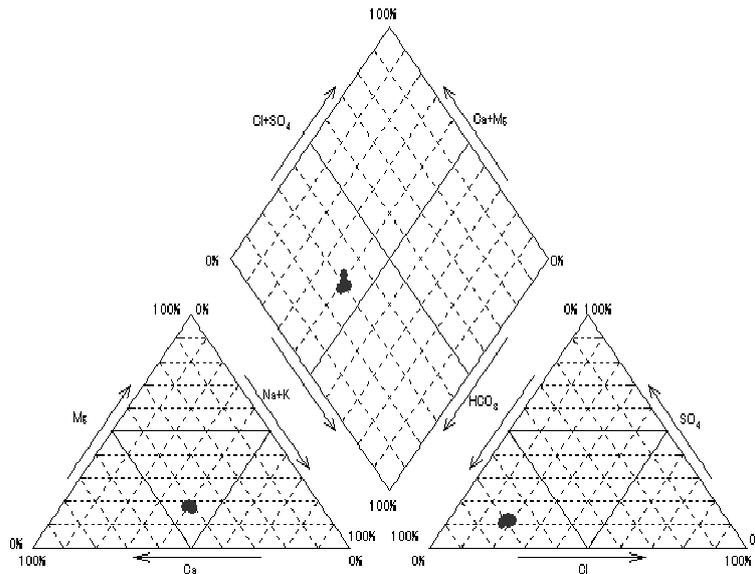


図-6 河川水のトリリニアダイアグラム

4 各成分の滲出特性

4.1 窒素及びリン

土壌溶出液は、土壌間隙水中の窒素・リンと土壌に吸着している窒素・リンのうち固液平衡によって水層に溶出する窒素・リンを含んでいる。土壌から水層に溶出する割合を示す溶出率は土壌中を移動する窒素・リンを示す指標になると考えられる。土壌溶出液の窒素・リンの濃度についてはA層からの溶出濃度が最も高く、河川水中の窒素・リン濃度への影響が大きいことが推測される。そこで、土壌からの窒素溶出率(DR_N)及びリン溶出率(DR_P)を次式により定め、各層ごとにその値を算出した。

(溶出条件：風乾土壌 20 g に対して 100 ml の割合で脱イオン水を用い、1 時間振とう)

$$DR_N (\%) = \frac{(\text{土壌溶出液中 DIN} / 10)}{(\text{土壌中 T-N} \times 20)} \times 100$$

$$DR_P (\%) = \frac{(\text{土壌溶出液中 DIP} / 10)}{(\text{土壌中 T-P} \times 20)} \times 100$$

(DIN、DIP : mg/L、T-N、T-P : mg/g)

窒素溶出率はA、B、C層でそれぞれ0.34、0.46、0.28を示しており、比較的差が小さいため、土壌

溶出液中の濃度については、各層の含有量の寄与が大きいものと思われる。また、リン溶出率はそれぞれ 0.049、0.023、<0.001 であり、比較的差が大きい各層の含有量の差は小さいため、土壌溶出液中の濃度は各層におけるリン成分の溶出特性の相異を反映しているものと思われる。

また、土壌溶出液中と河川水中の窒素成分の組成を比較すると、土壌溶出液では NO₃-N だけではなく 24~31%の NH₄-N が見られたが、河川水中ではほとんどが NO₃-N の形態で検出された。これは、土壌から溶出した NH₄-N が好氣的な状態にある林床や河床を通過する間に、生物による硝化作用を受け、NO₃-N に変化したことが推測される。

つぎに、河川水中の NO₃-N、PO₄-P 濃度と流量の相関についての検討結果を表-5 に示す。年間の測定値の変動係数を比較すると流量に比べて窒素・リン濃度の変動が比較的小さいことがわかる。また、各種回帰式での河川流量と窒素・リン濃度の相関係数(R²)は、今回調査したデータの範囲では 0.14~0.43 で相関が弱いことが判明した。

さらに、試験地の窒素・リンの収支を次のように推計した。根粒菌による大気中窒素の固定量や、

脱窒菌による窒素の大気への放出量が無視できるものとする、森林域の窒素収支は次式で示される。また、リンについても同様の関係が成立する。

$$\text{降下物負荷量} = \text{森林吸収量} + \text{流出負荷量}$$

次に、流出率を次式で定義した。

$$\text{流出率} = \frac{\text{流出負荷量}}{\text{降下物負荷}} = 1 - \frac{\text{森林吸収量}}{\text{降下物負荷量}}$$

この関係から、森林吸収量が大きいかほど流出率は小さくなる。そこで、表-5 河川水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度と流量の相関についての検討結果から、河川水中の DIN、DIP とともに年間を通じて変動が少なく、河川流量にもほとんど依存しないことと仮定して窒素・リンの収支計算を行った。

試験地は河内ダムの集水域 445ha の一部である。この集水域の中には民家、耕作地等も含まれるが、ほとんどの部分は森林であるため、集水域全体の水収支の割合は試験地とほぼ等しいと考えることができる。そこで、河内ダム管理事務所調査した調査期間中のダム流入水量 $4,419,000\text{m}^3/\text{year}$ と集水域からの河川流出量が等しいとみなして、1ha あたりの雨水の河川流出量を次式のとおり算出した。

$$\begin{aligned} \text{河川流出量} &= 4,419,000\text{m}^3/\text{year} \div 445\text{ha} \\ &= 9,930 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{year} = 993 \text{ mm}/\text{year} \end{aligned}$$

この河川流出量は、ダム管理事務所における調査期間中の降水量 $2,059\text{mm}/\text{year}$ の 48%にあたる。つぎに、河川流出量と河川水中の DIN、DIP の流量による年間加重平均値 $0.76\text{mg}/\text{L}(\text{g}/\text{m}^3)$ 、 $0.024\text{mg}/\text{L}(\text{g}/\text{m}^3)$ から、DIN、DIP の 1ha あたりの流出負荷量原単位を次式のとおり推計した。

$$\begin{aligned} \text{DIN 河川流出負荷量} \\ &= 0.76\text{g}/\text{m}^3 \times 9,930\text{m}^3/\text{ha} \cdot \text{year} \\ &= 7.5 \text{ kg}/\text{ha} \cdot \text{year} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{DIP 河川流出負荷量} \\ &= 0.024\text{g}/\text{m}^3 \times 9,930\text{m}^3/\text{ha} \cdot \text{year} \\ &= 0.24 \text{ kg}/\text{ha} \cdot \text{year} \end{aligned}$$

また、試験地の窒素・リンの供給は、ほとんど

が降下物によるものと推測されるため、河内ダム管理事務所に雨水採取器を設置して実測した結果は表-6 のとおりで、調査期間内の 1ha あたりの負荷量原単位は、T-N は $10.4\text{kg}/\text{ha} \cdot \text{year}$ 、T-P は $0.66\text{kg}/\text{ha} \cdot \text{year}$ であった。この降下物負荷量原単位と前述の DIN、DIP 河川流出負荷量原単位から次のように流出率を推計した。

$$\text{窒素流出率} = \frac{\text{DIN 河川流出負荷量}}{\text{T-N 降下物負荷量}} = 0.72$$

$$\text{リン流出率} = \frac{\text{DIP 河川流出負荷量}}{\text{T-P 降下物負荷量}} = 0.36$$

このことから、窒素・リンともに降下物による供給量より、河川流出量が少ないことが推計され、森林により窒素・リンが貯留されていることが推測される。今回の調査では、河川水について窒素・リンともに平水時に溶解性無機態のみの測定をしているが、過去に福岡県がスギ・ヒノキ植林地で実施した調査では流出水中の T-N 及び T-P 濃度の 70~80%程度が溶解性無機態であったことから⁷⁾、今回算出した流出率の精度はあまり高くないものの、比較的実態に近い数値であると推測される。

一般に、一定条件のもとで十分に時間の経過した極相にある森林では、全体の成長量はゼロになり、森林内の物質保有量は一定になると考えられている⁸⁾。また、樹木の伐採を行った集水域では、流出水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ が急激に上昇することが報告されている⁸⁾。今回の試験地は、人工林で樹木が成長過程にあるため、窒素・リンを貯留する機能を有していると推測されるが、植林や再生可能な資源である木材の計画的な利用など、長期的視点に立った森林の管理を行うことにより、この機能を維持していくことが可能ではないかと推測される。

4.2 その他の成分

河川水、土壤抽出液及び雨水中の主要なイオン成分の平均濃度による組成を図-7 に示す。雨水のデータは水質基準点西方約 21km の佐賀県富士町内での 1996~2001 年の平均値を使用した⁹⁾。窒素成分については $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ の合計を表示

している。このグラフから河川水のイオン組成は単純に周辺土壌や雨水の組成を反映しているものではなく、複雑な要素の影響を受けていることが推測される。

表-5 河川水中の NO₃-N、PO₄-P 濃度と河川流量の相関

項目	年間測定値の変動係数 (CV%)	関数の型による相関係数(R ²)の変化		
		線形	累乗	対数
NO ₃ -N (mg/L)	10%	0.22	0.14	0.20
PO ₄ -P (mg/L)	8%	0.39	0.43	0.39
河川流量 (m ³ /h)	32%			

表-6 降下物中の T-N、T-P 負荷量

採取期間	日数	T-Nの期間内降下量 (kg/ha)	T-Pの期間内降下量 (kg/ha)
2004年10月1日～10月31日	31	0.43	0.047
2004年11月1日～11月30日	30	0.51	0.026
2004年12月1日～2005年1月4日	35	1.08	0.108
2005年1月5日～2月3日	30	1.01	0.062
2005年2月4日～2月28日	25	0.37	0.005
2005年3月1日～3月31日	31	0.87	0.008
2005年4月1日～5月1日	31	0.40	0.027
2005年5月2日～6月1日	31	0.78	0.057
2005年6月2日～7月10日	39	1.87	0.033
2005年7月11日～8月15日	36	2.34	0.211
2005年8月16日～9月11日	27	0.54	0.020
2005年9月12日～10月2日	21	0.29	0.058
合計	367	10.5	0.66
年間換算値 (kg/ha・year) =合計×365/367		10.4	0.66

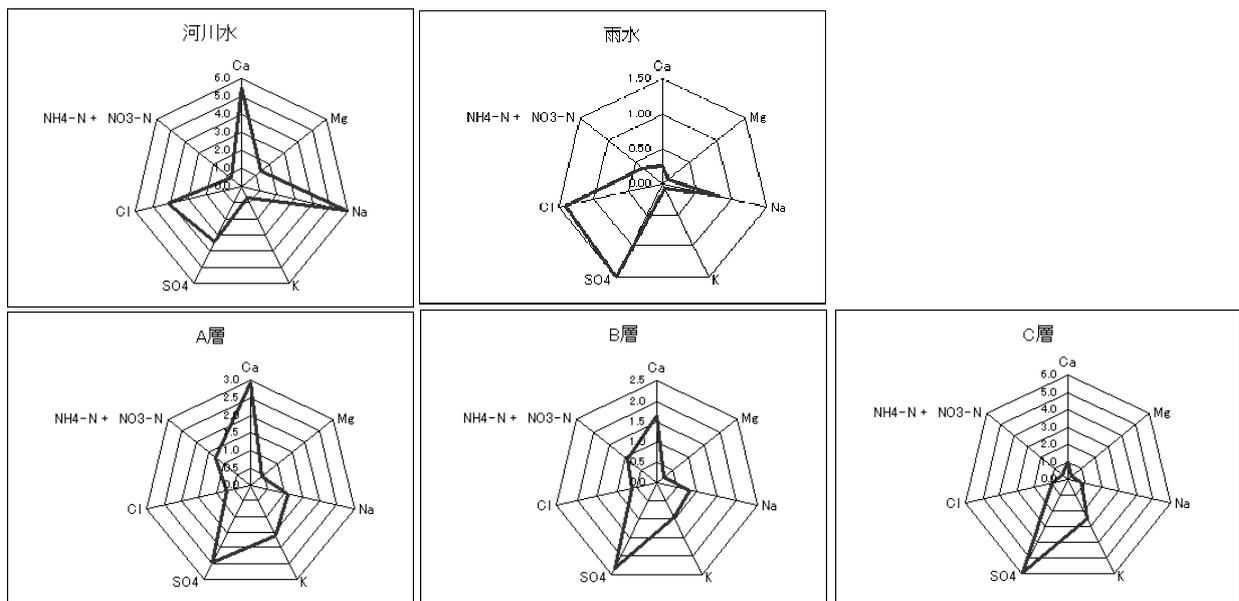


図-7 河川水、土壌抽出液及び雨水のイオン組成

まとめ

鳥栖市河内町の大木川源流部の森林で実施した今回の調査では次のようなことがわかった。

- (1) 土壌中の窒素・リンの含有量は A 層 > B 層 > C 層となっており、上層ほど含有量が大きい傾向が見られた。また、土壌試料の溶出試験結果でも同様の傾向が見られた。
- (2) 土壌からの窒素・リンの溶出は、窒素は各層の含有量の寄与が大きく、リンは各層の溶出特性の影響が大きいことが推測された。
- (3) 土壌溶出液の分析結果から、試験地では赤黄色土質的な Fe、Al に富んだ土壌の生成作用の影響が推測されたが、この作用が過去ものか、または現在進行中であるかについては、今回の調査では不明であった。
- (4) 河川水中の DIN/DIP 比は 30 であり、湖沼の植物プランクトンの増殖に関する窒素/リン比として評価するとリン制限であると判断された。
- (5) 河川水は年間を通じて河川流量の変動に比べて DIN、DIP の変動は比較的小さく、流量と濃度の相関も弱かった。
- (6) 試験地内では、窒素・リンともに降下物による供給量より、河川流出量が少ないことが推計され、森林により窒素・リンが貯留されていることが推測された。
- (7) 河川水のイオン組成は単純に周辺土壌や雨水の組成を反映しているものではなく、複雑な要素の影響を受けていることが推測された。

参考文献

- 1) 佐賀県：新しい佐賀の森づくりビジョン(2004)
- 2) 経済企画庁総合開発局：土地分類図（佐賀県）(1974)
- 3) 依田恭二：森林の生態学、築地書館(1971)
- 4) 土壌養分測定法委員会編：土壌養分調査法、養賢堂(1980)
- 5) 犬伏和之、安西徹郎：土壌学概論、朝倉書店(2001)
- 6) 地下水ハンドブック編集委員会：地下水ハンドブック、建設産業調査会(1980)
- 7) 永淵義孝、松尾宏、佐々木重行：福岡県における林地からの BOD、COD、全窒素及び全リンの流出負荷、福岡県保健環境研究所年報(2003)
- 8) 田淵俊夫、高村義親：集水域からの窒素・リンの流出、東京大学出版会(1985)
- 9) 土井由紀子、光武隆久：佐賀県における酸性雨調査データ集、佐賀県環境センター所報第 16 号(2003)