

1. はじめに

流域内の降雨は、降雨強度と土壌の浸透能により表面流出と中間、地下水流出成分へと分配される。その後、各成分はそれぞれ特徴ある時間的、空間的さらに水質的変換を受け流下する。近年、貯水池などの閉鎖性水域での富栄養化、異臭味が問題となっているが、これらの原因の1つは流域内に存在した栄養塩が降雨により洗い出され、水域へと運び込まれたためである。このような現象をもたらす河川の物質移動、あるいは変換等に関する研究は多いが、河川水を形成する各成分の水質的な特性に関する知見はいまだ極めて少ないと思われる。本報では、従来重視されることの少ない表面流出水の水質変化を現地実験を基に考察する他、砂カラム中の物質移動に関し若干の検討を行ない、河川水質のモデル化のための基礎とした。

2. 表面流出水の水質変化について

流域の形態、流出の規模により異なるが、ハイドログラフのピーク時にしめる表面流出成分の比率は極めて大きく、このことは水質、あるいは種々の教理的手法からも明らかである。また、この時期は大部分の水質負荷量のピークとも一致し、河川水質管理上からも重要となる。実験は山形市郊外、菅生の山林内の旧碎石場跡地に幅2.2m、流下方向長12mにベニヤ板を打ち込み、雨水と内部に生起する表面流出水を採取する装置をそれぞれ傾斜と植生を変えたものを3組設け、一降雨が終了次第に採水分析を行なった。なお、分析結果はすべて0.45 μ m通過の溶解性のものである。雨水の水質変化について図-1に示した。この図は、昨年度本校の屋上に設けたフラクションコレクターにより採水した一例で、10分毎の経時変化が示される。一般に、雨水は先行晴天期間、降雨強度等の影響を受け大きく変化するが、降雨初期に高い水質負荷をもたらす場合が多い。従来の河川水質モデルの多くは、雨水の水質として蒸留水、もしくはそれと同等の扱いがなされてきた。都市といった不透透部の多い流域では、雨水のもつ河川水質への影響についても特に考慮が必要と思われる。図-2に、表面流出水と雨水の水質の一例を示した。図中のS1、S2はそれぞれ傾斜が17°04'、12°03'、地表が赤土と礫が露出した斜面からの、また以下同様でS3は10°40'、草地からの表面流出を示す。この水質の例では特に傾斜や植生の影響を受けず、すべて雨水を越えた濃度の流出が生じたが、斜面の影響を受け大きく変化する例も多く、表面流出現象の複雑な様子が伺えた。流出系における表面流は、河川流と地表面流の2つに分類されるが、前者についてはマンシングの抵抗則が成り立つことが知られている。しかし、地表面流についてはこの他にも層流、シェジー、さらにはダルシー形式が考えられる。水質問題に抵抗則の考えを導入するにあたり、今回は高柳らの実験結果を参考に、すべての表面流出に対し等流形式のマンシングの抵抗則が成り立つものと仮定し、地表面上

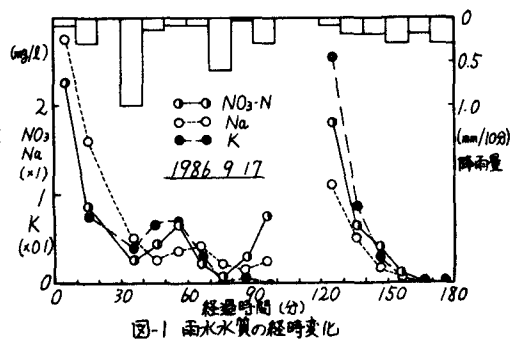


図-1 雨水水質の経時変化

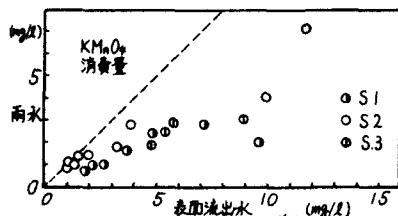


図-2 表面流出水の水質変化

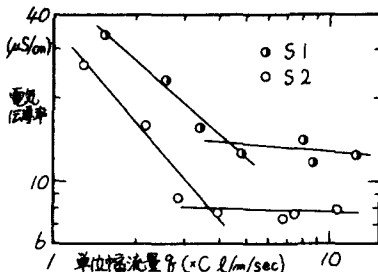


図-3 単位幅流量との関係

の単位幅流量を算出した。この際、地表面の粗度係数としては石原らの報告を参考に $0.02\text{ m}^{-1/3}\text{ sec}$ を、また地表上の水深は降雨量と比例するものとした。算出された単位幅流量と表面流出水の水質の関係を図-3に示したが、この例ではある量を境に変曲点をもつ流出となる様子が認められた。これは、比較的小さな単位幅流量の領域では主に地表面上からの洗い出し作用が、またある程度増加してからは雨水のもつ糸状作用が卓越した結果と思われる。また、変曲点はあるものの相対数上で一部直線をなす両者の関係は、先に著者が報告した数直フィルターによる河川水質の成分分離結果とも符合しており、一部の表面流出水の水質が極めて大きな幅で変化することも推察された。

3. 砂カラム中の物質移動について

地中へ浸透した雨水は、土粒子間の通気層帯を通過するが、その際土壌中で比較的容易に離脱する $\text{NO}_3\text{-N}$ といった陰イオン物質の移動も伴う。その後、傾斜や地層といった条件により、一部は再び表面流となるが、大部分は中間、地下水流出となる。不飽和状態の土壌カラム中での物質移動については、様々な理論や実験結果が報告されているが、本報では統計的手法を用い、カラムからの流出が攪乱、不攪乱を問わず、いく種かの流出成分に直接分離される可能性を検討した。実験は内径が 5.5 mm 、長さ 300 mm の塩ビパイプに、AECがほとんど無視できる珪砂を充填して行なった。実験に先立ち、カラムには定量ポンプにより蒸留水を実験時と同じ流量で長時間供給し、流れを定常状態とした。その後、所定濃度のトレーサ(NaCl)を所定時間、カラムに流入する蒸留水と切換え、下部からの流出水の濃度を電気伝導率の変化より求めた。図-4は結果の一例であるが、高濃度の流出水がやや前半に現れる様子で、若干のテーリング現象が認められた。このような流出のパターンは、粗大粒団を含むものや不攪乱の試料に特に顕著であることが、種々の実験結果より報告されている。この原因としては、主に根管や粒子間の粗空ゲキを流下する比較的早い流出成分や、逆に微細な土粒子間構造に取り込まれ、極めて緩慢に流出する成分等が存在するためと考えられている。そのため、物質移動の現象を表現するには、従来の単純化された一本の拡散方程式では十分とはならず、そのため多成分流として捉える必要が生じる。図-5に正規確率紙上のプロットを示したが、ここではゆるい逆S字型のカーブとなり、各成分が正規分布に従うとするなら全体が3つの液相に分離できることが推察された。この仮定については、同様な実験を粒径の同じガラスビーズに對し行なった結果からも十分と思われる。各量の推定にあたっては、液相の立上り部分を正規確率紙上で確率積分を用いて最小二乗近似し、外挿を行ない仮定した。なお、随時各成分の正規性を確認しながら、直線を決定する範囲とデータの圧縮量を変え、最終的に得られた3成分が図-6であり、また各々の正規確率紙上のプロットが図-7である。この手法は、適当なトレーサを選択すれば攪乱、不攪乱を問わずほとんどの土柱カラムに對し水分移動に伴う陰イオン物質の挙動に関する考察が可能となるものと思われる。

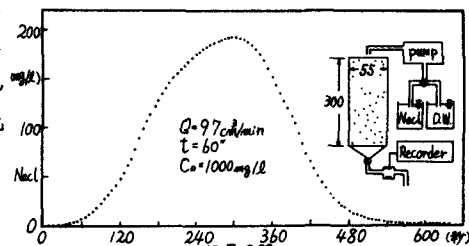


図-4 砂カラムからの流出

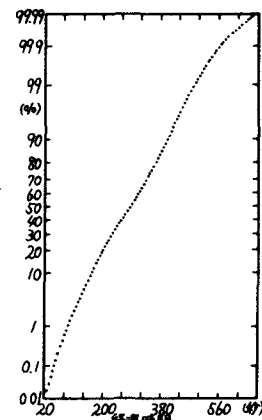


図-5 正規確率紙上のプロット

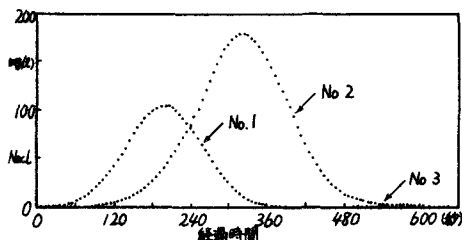


図-6 流出成分の分離結果

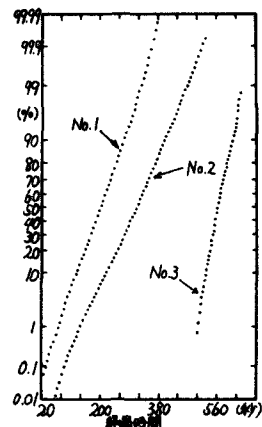


図-7 流出成分の分離結果