

研究資料 Research Notes

落葉広葉樹林内の河川における流水の一時滞留に関する予備実験

佐野貴洋^{1*}・窪田哲蔵¹・芳賀弘和¹

Preliminary experiment of in-channel transient storage in a deciduous broadleaved forest

Takahiro Sano^{1*}, Tetsuzo Kubota¹ and Hirokazu Haga¹¹鳥取大学農学部生物資源環境学科 (〒680-8553 鳥取市湖山南 4-101)

Department of Biological resource and environment, Faculty of Agriculture, Tottori University, Tottori, 680-8553, Japan

* E-mail: takahiro.sfd417@gmail.com

要 旨

山地河川の流路内における流水の一時滞留現象を明らかにするために、中国山地中央部の落葉広葉樹林内を流れる小河川において NaCl トレーサーを用いた予備実験を行った。実験に際し、まず NaCl トレーサーを一定の強度で流路内へ注入するための器機（マリOTTボトル方式の注入器，MBI）を自作し，注入強度の安定性を確かめた。その結果，平均注入強度が約 1.5 ml/s の条件において変動係数は 0.5% 未満であり，MBI の安定性は良好であった。次いで，長さ約 25 m の調査区間の上流端から約 4 時間に渡り NaCl トレーサーを注入し，下流端での電気伝導度（EC）の変化を調べた。この注入実験を落葉期の直前と直後に 1 回ずつ行った結果，1) 落葉直後は直前よりも NaCl トレーサーの下流端への到達速度が遅いこと，2) 流量の日変化が EC に影響を与えること，3) EC の上昇区間においてスパイク状の変化が現れる場合があること，及び 4) 注入停止から 1 時間では EC は一定にならないことがわかった。流量条件によってはこれらとは異なる結果が予想されるが，今後本調査地において NaCl トレーサーの注入実験や流水に関する理論的解析に基づいて一時滞留現象を明らかにしようとする際に，今回の予備実験の結果は一つの目安となる。

キーワード：NaCl トレーサー，注入実験，落葉，マリOTTボトル，蒜山の森

I. はじめに

山地河川の水は流下の過程で流路内の様々な物質から影響を受ける。礫や基岩，滞留土砂，流木や落葉，あるいは河川に生息する動植物や微生物によって，物理的・化学的・生物的な作用を受けることになる。特に，森林地帯を流れる山地河川では，流木や落葉は流路内の微地形を作り出す要素として重要である，さらに，落葉広葉樹林の場合，毎年秋になると多量の落葉が流路内に供給されるため，落葉は少なからず水の流れに影響を及ぼすと同時に，水質形成に寄与していると思われる。しかし，その影響を定量化することは非常に難しく，山地河川における物質循環や水文学的・生態学的な過程を

解明する上で重要な課題となっている。

近年，欧米において流路内における水の一時滞留現象を解明するための研究例が増えつつある。よく用いられる手法としては，NaCl トレーサーの注入実験と OTIS モデル（One-dimensional Transport with Inflow and Storage model ; Runkel, 1998）による理論的解析を併用する手法がある。NaCl トレーサーの注入実験は，注入点の下流において電気伝導度（EC）の変化や Cl 濃度の変化を観測して流れが伝わる様子を捉えるものである。OTIS モデルは，流路内において主だった流れが生じている領域と一時滞留領域（死水域や河床間隙水域）との間の水の交換を考慮し定量化するものである。したがって，流木や落葉によって生じる流れの複雑さが流路

内での一時滞留に影響を及ぼすとすれば、この研究手法は流木や落葉が流路内障害物として流れに与える影響を定量化するために応用できると思われる。

鳥取大学・蒜山の森は落葉広葉樹内を流れる山地河川を有している。また流量を観測するための堰堤が数カ所にあり、その一部では河川水質のモニタリングが行われている。これらのことから、流路内において落葉が水の流れや水質に与える影響を分析するための調査地として適していると考えられる。

以上を踏まえ、流路内の落葉量の違いを考慮して蒜山の森で行った予備実験の結果について報告することとした。具体的には、落葉期の直前と直後において、NaCl トレーサーの注入実験を行った結果を示すとともに、調査区間の下流端で EC 変化を把握する際に留意すべき点を指摘することとした。

II. 調査地

実験は、鳥取大学・蒜山の森の 22 林班にある量水堰堤 W2 の堆砂地を流れる小河川で行った (図 1, 図 2)。W2 には 90°-V 型ノッチが取り付けられており、ノッチの越流水深 (H, 単位:m) と流量 (Q, 単位: m³/s) の関係は、 $Q = 2.0074H^{5/2}$ で表すことができた (図 3)。W2 が抱える流域面積は 15.2ha であった。W2 の堆砂地のの上流端と下流端を調査区間とし、トータルステーションを用いて測量した結果、区間長 25m, 平均水面幅 1 m, 流路勾配 1.8% であった。W2 の直上 2~3 m の範囲はプールになっており、最も深い部分で水深 0.3 m であった。流域の地質は大山凝灰角礫岩層 (田中ら, 1981), 土壌は黒色火山灰土であった。調査区間周辺の森林は、コナラが優占する落葉広葉樹林であり、林床はチマキザサに覆われていた。

III. 方法

実験は、落葉期の直前 (2011 年 10 月 19 日) と直後 (2011 年 11 月 09 日) に 1 回ずつ行った。実験では、調査区間の上流端から NaCl トレーサーを一定の強度で注入し、下流端で EC の変化を測定することとした。実験に先立ち、NaCl トレーサーを注入する器機としてマリOTT ボトルを利用した注入装置器 (Mariotte bottle-type injector, MBI) を自作した。以下ではまず、この MBI の注入強度の安定性に関する確認方法を示し、次いで NaCl トレーサーの注入実験の方法について述べる。

(1) MBI の安定性に関する確認

Moore (2004) を参考に、MBI はコック付きボトル (50 リットル用, Nalgene 製), ステンレスパイプ (内径 5 mm), ゴム栓, 及びピペットチップ

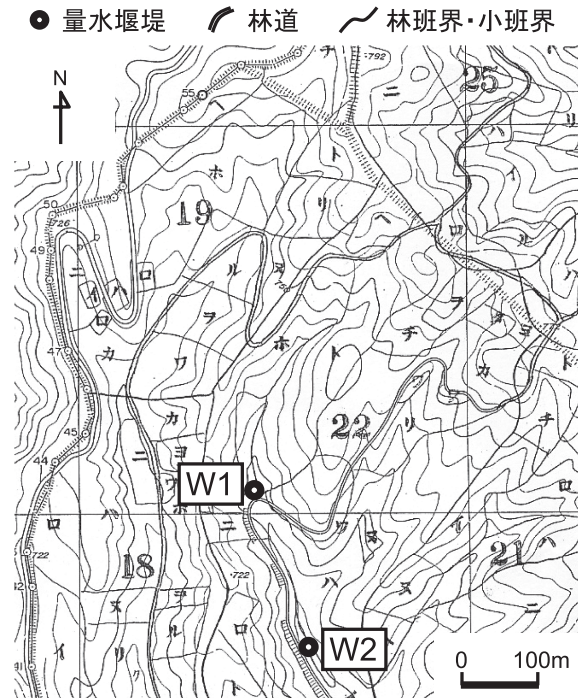


図 1 量水堰堤 W1 と W2 の位置。蒜山演習林基本図 (1976 年測図) 上に示しており、図中の数字は林班名、カタカナは小班名を意味している。

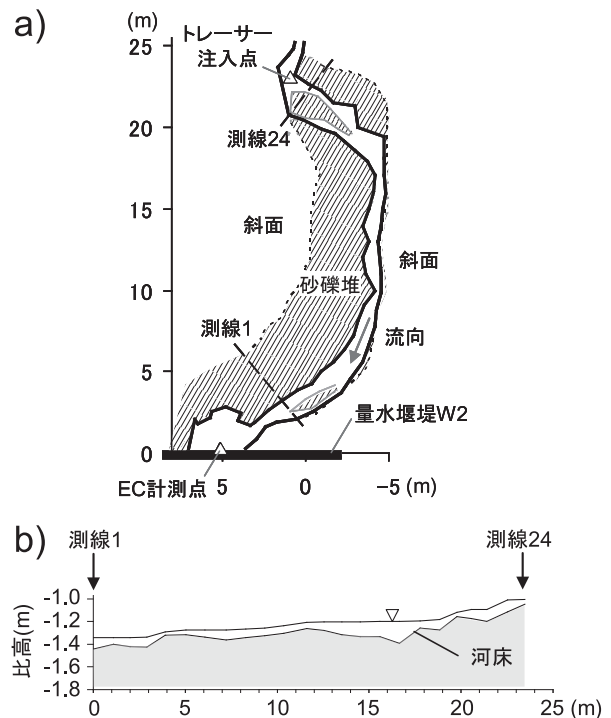


図 2 調査区間の平面図 (a) と縦断面図 (b)

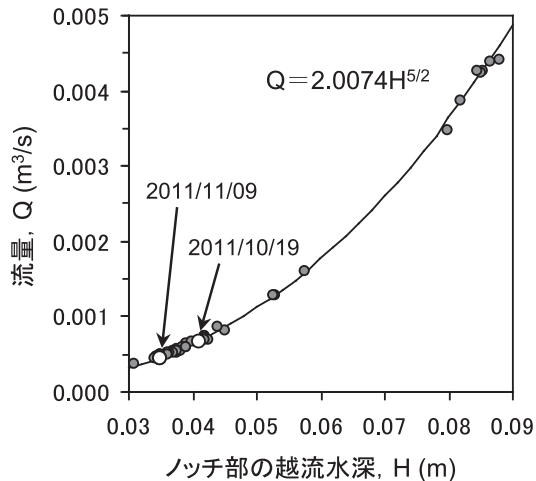


図3 量水堰堤 W2 の越流水深と流量の関係
白丸は実験を行った時のデータである。



写真1 マリオットボトルを利用した注入器 (MBI)

プで構成されるマリオットボトルとした (写真1)。このため、電源がない場所で使用することが可能であった。このマリオットボトルに水を入れ、ステンレスパイプを通したゴム栓をマリオットボトルに取り付けてからコックを開くとコックに連結したピペットチップから水が流出してくる。単位時間に流出する水量 (注入強度, 単位: ml/s) は、ステンレスパイプを差し込む長さによって調節することができる。今回は、コックから約 2 cm の高さまでステンレスパイプを差し込んだ。開栓後、約 1 分するとパイプからコポコポという音 (気泡がマリオットボトル内に入る時の音) が規則的に聞こえ始める。これ以降、10 ~ 60 分の間隔において、60 秒間に流出する水量を 3 回測定し平均値を求め、注入強度を算出した。測定は、ストップウォッチと容量 100 ml のメスシリンダーを使用し、マリオットボトルの水がなくなるまで繰り返した。注入強度の安定性は、注入強度の平均値、最小値、最大値、及び変動係数を調べて確認することとした。

(2) NaCl トレーサーの注入実験

実験に用いた NaCl トレーサーは、水道水に食塩を溶かした溶液であり、重量濃度で 5% であった。NaCl トレーサーの注入実験は、落葉期の直前 (2011 年 10 月 19 日) と直後 (2011 年 11 月 09 日) に行った。実験では、調査区間の上流端に設置した MBI から NaCl トレーサーを一定の強度で流路に注入し、下流端に設置した EC センサ (ES-51, HORIBA) で EC の時間変化を計測した。注入開始から停止までの時間は 4 時間とし、EC の計測は注入停止から 1 時間後までとした。それぞれの実

験は、流量の大きさと先行降雨条件を考慮し、できるだけ似たような水文条件の下で行った。注入強度は、落葉期の直前と直後においてそれぞれ 1.54, 1.48 ml/s であった。

IV. MBI の注入強度の安定性

MBI の注入強度の安定性に関する確認は 6 回試みた。しかし、初めの 3 回は、ピペットチップ内に空気が入っていたり、ピペットチップの切れ端 (幅約 1 mm, 長さ約 5 mm) が入っていたり、あるいは開栓が不十分であったりしたため、流入強度の時間変化が大きかった。このため注入強度の安定性に関しては、4 回目以降 (2010 年 10 月 16 日, 2011 年 09 月 06 日, 及び 2011 年 09 月 10 日) のデータを用いることとした。その結果、いずれの場合もマリオットボトル内の水面がステンレスパイプの下端よりも上にある時には、注入強度は非常に安定していた (図 4)。また、いずれの場合も、注入強度の平均値は 1.5 ml/s 程度であり、最大値と最小値の差は大きくても 0.02 ml/s, 変動係数は 0.5% 未満であり (図 4), 自作した MBI の注入強度の安定性に問題はないと判断できた。なお MBI の設定では、パイプ以外から空気が入りしないようにするために、ゴム栓とタンク、ステンレスパイプとゴム栓を密着させることが重要である。また、実験の途中で注入強度が微妙に変化しないように、コックは全開にして使用の方が良さそうである。さらに、マリオットボトルの特性として、開栓してからパイプ下端の水圧が大気圧と等しくなるまでに時

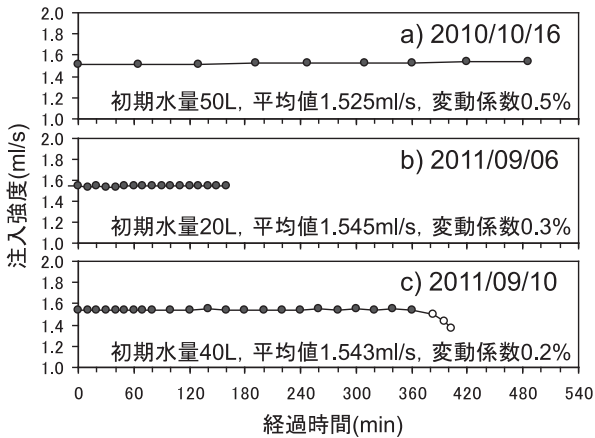


図4 注入強度の安定性の検定
白丸はステンレスパイプの下端が水面から出た状態。

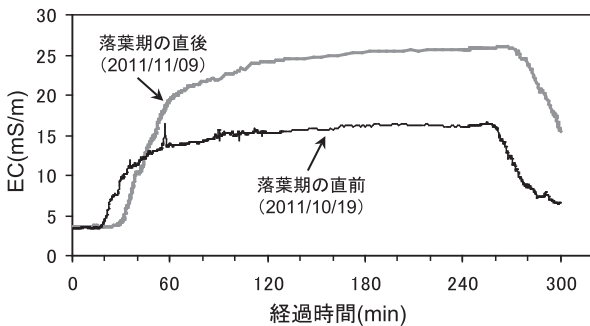


図5 NaCl トレーサーの注入実験の結果

間差があるため、コポコポという音が聞こえるまでは注入強度が不安定であることを考慮しておく必要がある。

V. NaCl トレーサーの注入実験の結果

落葉期の直前と直後のそれぞれにおいて、流下する NaCl トレーサーを感知して EC 値が立ち上り、そのあと EC 値が安定し、さらに EC 値が低下する様子を把握することができた (図 5)。注入開始から EC 値が立ち上がるまでの時間は、落葉期の直前は 17 分であったのに対し、落葉期の直後は 26 分であった。その後、EC 値が安定するまでの時間も落葉期の直後の方が遅いようにみえた。EC の変化曲線は、落葉期の直後では比較的滑らかであったが、落葉期の直前では値のふらつきがみられ、特に EC の上昇部ではスパイク上の変化がいくつか現れた。この原因についてはよくわからないが、NaCl トレーサーが調査区間を流下する過程で十分に混合していなかったのかもしれない。NaCl トレーサーの注入から 2 時間が経過する頃には、落葉期の直

前も直後も EC 値はほぼ一定とみなすことができたが、厳密には徐々に上昇する傾向があった。注入開始時と停止時の流入強度を調べたところその差は 0.3% 未満であり、実験中の注入強度は一定である。このことから、EC 値の上昇傾向は流量の日変化によってもたらされていることが推察された。流量は午後になるとわずかに低下することが実測によって確認されており、ちょうどこのタイミングは EC 値が徐々に上昇する時間帯と一致していた。定常条件で OTIS モデルを用いる場合には、このような EC 値の変化は再現できないと考えられる。このため、実験が平水時に行われたとしても流量の日変化が生じるような場合には、注入実験の結果を解析する際には注意が必要であろう。また、注入停止後 1 時間で EC の計測を止めたが、1 時間程度では EC 値は落ち着いておらず、本調査区間ではより長い時間の測定が必要であると考えられる。なお、落葉期の直前と直後では、EC 値の最大値に 10mS/m もの差があった。これは、主に流量条件の違いによる差である。今回の実験では、なるべく同じような流量条件で実験を行うように配慮したが、落葉期の直前と直後の流量はそれぞれ 0.00065, 0.00043m³/s であり、EC 値の規模に影響が及んだと考えられる。この点は、注入実験の結果だけでは定量的な解析が難しく、OTIS モデルのように理論的解析手法の併用することの重要性を示唆している。

VI. おわりに

蒜山の森にある量水堰堤 W2 の堆砂地を流れる小河川において NaCl トレーサーの注入実験を行い、落葉期の直前と直後における EC 変化曲線を得ることができた。NaCl トレーサーの注入には、マリオットボトルを利用して自作した器機 (MBI) を用いた。MBI による注入強度の安定性は非常に高く (変動係数は 0.5% 未満)、注入実験に十分使用できることが確認できた。MBI は注入量に制限があるものの、電源が不要であるため森林内で用いるには好都合である。このため、今後は他の調査区間や河川において注入実験を行いデータを収集することが可能であり、蒜山の森における水循環過程や流路内での水質形成機構を把握するための研究に組み込むことが期待される。今回の予備実験は、実験日による水文条件の違いや流量の日変化が EC 値にもたらす影響など、解析上の問題を含んでいた。しかし、今後本調査地において注入実験や流水に関する理論的解析に基づいて一時滞留現象を明らか

にしようとする際に、今回の予備実験の結果は一つの目安になると思われる。

謝 辞

調査に際し、蒜山の森のスタッフである松原研一さん、小谷好正さん、福富昭吾さん、楨本小百合さん、米田亜沙美さんには色々ご配慮頂いた。鳥取大学農学部緑地防災学研究室の学生諸氏には、現地調査の際に協力して頂いた。以上の方々に深く感謝の意を表します。

引用文献

- (1) Moore, R.D. (2004) Construction of a Mariotte bottle for constant-rate tracer injection into small streams. Streamline Watershed Management Bulletin 8: 15-16.
- (2) Runkel, R.L. (1998) "One-dimensional Transport with Inflow and Storage (OTIS): A solute transport model for streams and rivers". U.S.G.S., Water-Resources Investigations Report 98-4018.
- (3) 田中一夫・奥村武信・井上 昌・下野 清 (1981) 広葉樹林における水源かん養機能に関する研究 (I). 鳥取大学農学部演習林報告 13: 37-48.

