

長期浮遊砂サンプリングのための 簡易サンプラーの実験的検証

Experimental Verification of the Time-integrated
Suspended Sediment Sampler

古賀 聡子*・恩田 裕一**・飯島 英夫***

Satoko KOGA*, Yuichi ONDA** and Hideo IJIMA***

1 はじめに

現在、荒廃した人工林から豪雨時に濁水が発生することが問題になっている。この問題に対処するためには、濁水の発生源を特定することが重要である。その手法として、放射性同位体をトレーサーとして用いた手法が有効であると言われている(恩田ほか, 1997; Motha *et al.*, 2003; Wallbrink *et al.*, 1998)。この手法では分析のために10g以上の試料が必要であるが、分析可能となる十分な浮遊砂量を集めるためには多くの困難が存在している。まず、多くの浮遊砂を採取するためには大量に濁水を採水する必要があり(Motha *et al.*, 2003)、その処理においても吸引濾過など多くの労力が必要となる(恩田ほか, 1997)。また、濁水を採取する自動採水器は高価であり、自動採水器で得られる少量のサンプルでは分析には不十分な量である場合が多い。自動採水器がない場合は各出水イベント時に頻繁に採水しなければならず、労力を要する(Kurashige, 1993)。

上記のように浮遊砂の採取には多くの困難が

存在するが、近年イギリスの研究グループによって、長期的に河川に放置することで大量の浮遊砂を採取できる浮遊砂サンプラーが開発された(Phillips *et al.*, 2000; Russell *et al.*, 2000)。塩化ビニル管を用いて、安易に低価格で製作することが可能なサンプラーである。Phillips *et al.* (2000)は、実験室とフィールドにおいて本サンプラーの捕集効率を検証している。実験室ではサンプラーの出口に直接ポンプを接続し、濁水を一定流速(30 cm/s, 60 cm/s)で吸引し、流入分と捕集分と流出分の浮遊砂の重量と粒度分布を比較した。その結果、捕集効率は流速に依存し、流速が遅い方が捕集効率は高いという結果が得られている。農地流域であるフィールドにおける実験では、サンプラーで捕集された浮遊砂と、実際に手でイベント時に採取した浮遊砂とを比較している。実際に採取した浮遊砂とサンプラーで捕集された浮遊砂の粒度分布は良く一致し、サンプラーによって捕集された浮遊砂は実際の河川を流れる浮遊砂の代表値と言えることが示された。このサンプラーはドイツの研究グループによっても小さな低

* 筑波大学環境科学研究科大学院生

** 筑波大学生命環境科学研究科

*** 筑波大学陸域環境研究センター

地流域において用いられ、粒度分析及び有機物等の分析が行われている (Laubel *et al.*, 2002). しかし、これまでの研究では、サンプラーの捕集効率を考える際、実際のフィールドでどのような量の浮遊砂が捕集されるかという捕集効率については検討がなされていない。

そこで、本研究ではフィールドに近い状態での浮遊砂サンプラーの捕集効率を検証するために、水路に濃度調整した濁水を一定流速で流し、そこに一定時間サンプラーを設置した条件下で実験を行った。また本サンプラーを用いて山地流域において浮遊砂を採取するために、フィールドでの捕集能力について検討を行った。

II 実験の材料と方法

1. 浮遊砂サンプラー

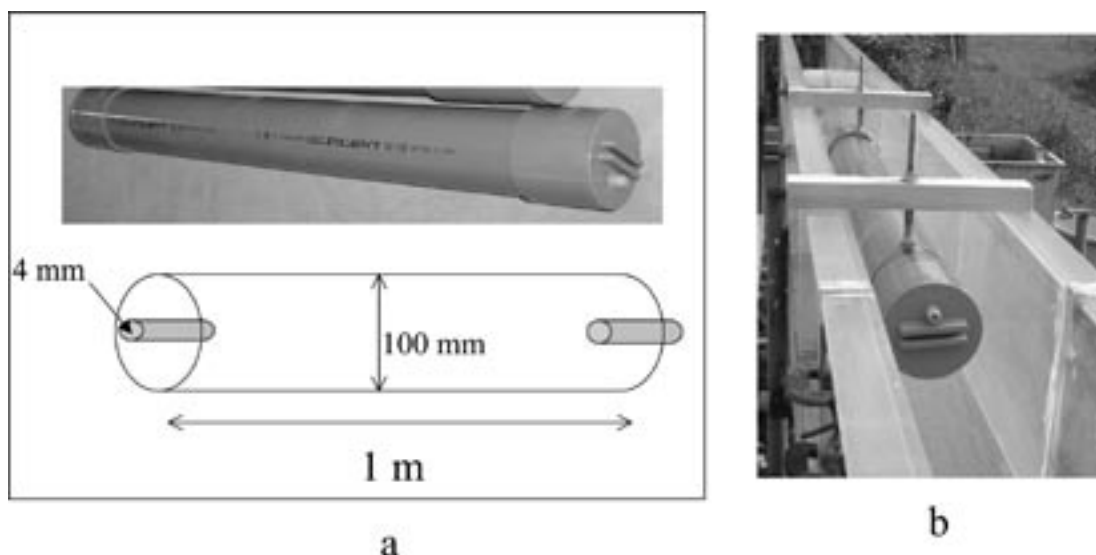
本研究で用いるサンプラーは Phillips *et al.* (2000) の開発したサンプラーに Walling 氏の助言を加えて改良したものを製作した (第1図 a)。本体は塩化ビニル管 (ϕ 100 mm \times 1 m) で、入

口と出口は掃除口を用いて蓋をし、穴をあけてプラスチックチューブ (ϕ 4 mm \times 15 cm) を挿し込んだだけの簡単な構造である。入口部分のプラスチックチューブの先端を 5 mm ほど出しておくことで、Phillips *et al.* (2000) にあるような入り口の構造と同じ効果を発揮し、浮遊砂を効率よく流入するようになっている (Walling, 2003; personal comm.)。

この器具が浮遊砂を捕集する機構は下記の通りである。流入した濁水は入口部分のプラスチックチューブを通過する時のチューブ壁面の摩擦抵抗と、本体の塩化ビニル管に流入する時の断面積の増加によって流速が落ちる。このため、本体内部で微細粒子の沈降が促される結果、浮遊砂が捕集される。また、出口における流出速度は周囲の流れに比べて大変遅いため、浮遊砂が内部にとどまることになる。

2. 実験方法

実験は、筑波大学陸域環境研究センターの水路で行った (第1図 b)。水路の全長は 8 m、幅 20 cm、



第1図 サンプラーの概略図、及び水路への設置模様
a. サンプラーの写真及び概略図, b. 水路への設置模様

深さ 29 cm である。濁水成分にはカオリナイトとシルトを 19 : 1 で混合したものを用いて、1000, 2000, 5000, 10000 ppm の 4 つの濃度で実験を行った。

実験方法は、水路内に各濃度の濁水を流し、流速を調整し、水道水で満たした浮遊砂サンプラーを沈め、浮遊砂捕集時間中、放置した。捕集時間は 1 時間と 3 時間の 2 種類で、流速は 30 cm/s と 60 cm/s で行った。水路内の濁水と捕集時間経過後の浮遊砂サンプラー内の濁水を回収し、それぞれの吸光度を測定することで濃度に換算した。

捕集効率については、

$$\text{捕集効率} = \text{サンプラー内濃度} / \text{水路内濃度}$$

と定義する。捕集効率の値が 1 以上であれば、サンプラー内で濁水が濃縮され、浮遊砂が捕集されたことになる。反対に 1 以下であれば、濁水の濃縮がなされず、浮遊砂の捕集が効率良く進まなかったことになる。但し、実験開始時にサンプラー内は水道水で満たされており、初期濃度はゼロなので、捕集効率が 1 以下であっても浮遊砂が捕集されていないというわけではない。

III 結果及び考察

1. 水路内濁水濃度とサンプラー内濁水濃度の比較

吸光度計を用いて濁水の濃度を測定した結果を、第 1 表・第 2 表に示す。第 1 表は、捕集時間 3 時間で各濃度、各流速での浮遊砂濃度を示したものである。各条件での水路内濃度とサンプラー内濃度を示した。各水路内濃度において、流速が 60 cm/s の方が 30 cm/s よりもサンプラー内の濁水濃度が高くなっている。各水路内濃度について、30 cm/s の場合と 60 cm/s の場合の差を示すと、1000 ppm では 750 ppm, 2000 ppm では 1500 ppm, 5000 ppm では 6420 ppm, 10000 ppm では 8060 ppm という結果になる。水路内濃

第 1 表 各濁水濃度・流速における水路とサンプラー内の濁水濃度の比較（捕集時間：3 時間）

	水路 (ppm)	サンプラー (ppm)
1000 ppm, 30 cm/s	819.2	240.1
1000 ppm, 60 cm/s	921.0	988.3
2000 ppm, 30 cm/s	2451.9	1367.4
2000 ppm, 60 cm/s	3170.1	2870.1
5000 ppm, 30 cm/s	5797.4	3006.5
5000 ppm, 60 cm/s	6661.0	9424.6
10000 ppm, 30 cm/s	9751.9	9561.0
10000 ppm, 60 cm/s	12024.6	17624.6

第 2 表 捕集時間（1 時間と 3 時間）を変化させた時の水路とサンプラー内の濁水濃度の比較（水路内濁水濃度：1000 ppm）

	水路 (ppm)	サンプラー (ppm)
30 cm/s, 1 hour	954.2	124.6
30 cm/s, 3 hour	819.2	240.1
60 cm/s, 1 hour	1425.5	543.7
60 cm/s, 3 hour	921.0	988.3

度が全く一致した値ではないため、正確な差ではないが、差が生じていることは明らかである。また、上記の結果より、水路内濃度が増加するにつれて、それぞれの流速における場合の捕集された浮遊砂濃度は増加されたこともわかる。

第 2 表は、水路内の濁水濃度を 1000 ppm として実験を行った場合で、各流速（30 cm/s と 60 cm/s）で捕集時間を 1 時間と 3 時間で変化させた時を比較した。捕集時間が長い方が濃度は高くなっているが、時間に比例して濃度は増加していない。時間は 3 倍であるが、30 cm/s の濃度増加は 1.9 倍であり、60 cm/s の濃度増加は 1.8 倍であり、双方とも 2 倍弱である。

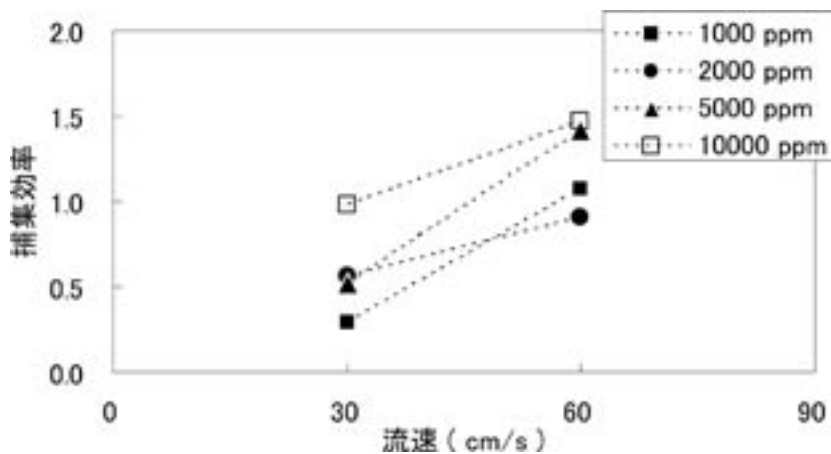
2. 流速変化と捕集効率

第 2 図は、水路内の濁水と捕集時間を一定にして、流速を変化させた時の捕集効率を比較した図である。どの場合も流速が 60 cm/s の時の方が捕集効率は増加している。30 cm/s の捕集効率はどの濃度においても 1 以下であり、水路内濃度が

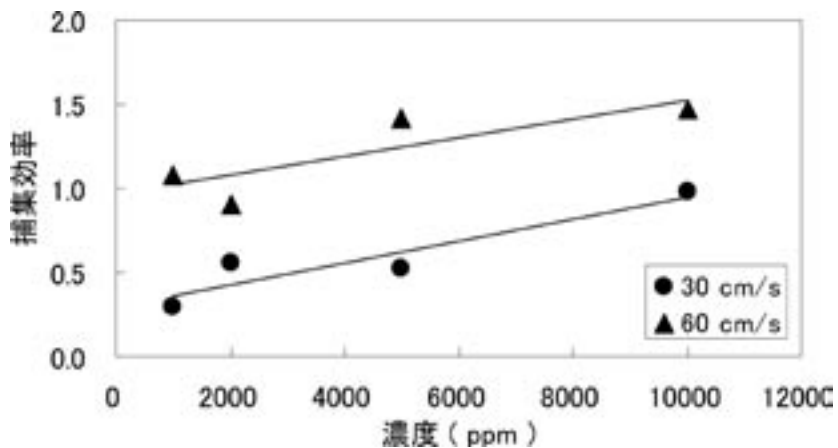
サンプラー内で濃縮されるまでには至っていないことがわかる。一方、60 cm/s の場合、捕集効率は 2000 ppm の場合を除いて 1 以上であり、サンプラー内で水路内濃度を超える濃縮が生じていることが確認できる。以上の結果から、捕集効率に及ぼす水路内流速、すなわち、周囲の流れの速さの影響は大きいことが確認できる。以上のことから、流速が速い、または流入する濁水の濃度が高い方がサンプラーの捕集効率は増加することがわかった。

3. 濃度変化と捕集効率

第 3 図は、流速と捕集時間を一定にして、水路内の濃度を変化させた時の捕集効率を比較した図である。水路内の濃度が増加するにつれて、捕集効率が增加する傾向にあることがわかる。30 cm/s の場合、捕集効率は全て 1 以下になっているが、10000 ppm では他の濃度に比べて捕集効率は大きく増加しており、水路内濃度とはほぼ等しくなっている。60 cm/s の場合、1000 ppm と 2000



第 2 図 各濃度における流速 (30cm/s, 60cm/s) を変化させた場合の捕集効率 (捕集時間: 3 時間)



第 3 図 各流速における濃度 (1000 ppm, 2000 ppm, 5000 ppm, 10000 ppm) を変化させた場合の捕集効率 (捕集時間: 3 時間)

ppm ではサンプラー内濃度は水路内濃度とほぼ等しくなっており、5000 ppm と 10000 ppm では約 1.5 倍となっていた。

4. 捕集時間変化と捕集効率

第 4 図は、水路内濃度と流速を一定にして、捕集時間を変化させた時の捕集効率を比較した図である。捕集時間が増加するほど、捕集効率が増加していることがわかる。しかし、第 2 図で濃度を比較した場合では、捕集時間が 3 倍になったことに対し、両方の流速において濃度増加は 2 倍弱の値になる。捕集効率においては水路内濃度の違いの影響がなくなり、計算してみると、捕集時間が 3 倍になったことに対して、30 cm/s では捕集効率は 2.2 倍、60 cm/s では 2.9 倍になっている。以上から捕集時間の増加に対して、捕集効率は比例していることが考えられ、特に 60 cm/s においてはそれがよく確認できた。

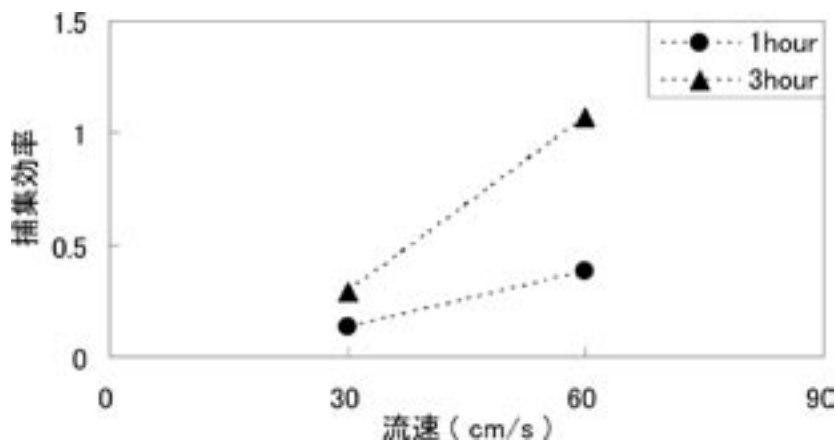
5. 水路実験による捕集効率

以上のように本実験では、Phillips *et al.* (2000) のサンプラーに流入する速度が遅い方が捕集効率は高いという結果と異なった結果になっている。Phillips *et al.* (2000) が実験室において測定した

捕集効率は、ポンプを用いてサンプラーに直接濁水を流し入れた場合の結果である。本実験は、流速を調整した水路にサンプラーを設置しており、サンプラーに入る濁水の流速を操作することはできない。実験において用いた流速、30 cm/s と 60 cm/s は Phillips *et al.* (2000) が実験において用いた周囲の流速と等しくしたが、水路にサンプラーをおいて行った場合の方が、サンプラーの入口の蓋などへの衝突や抵抗によって、サンプラーに入る流速は Phillips *et al.* (2000) が実験で扱ったものより小さくなっていることが考えられる。サンプラー内に効率よく濁水が入る状態が作られなければ、捕集自体が生じにくくなる。以上のような理由で、今回の実験では水路内の流速が 30 cm/s よりも 60 cm/s の方がサンプラーに効率良く濁水が入ると考えられ、流速の速い方が捕集効率は高くなるという結果が得られたと考えられる。

IV 結論

本実験の目的は、フィールドである山地流域において本サンプラーによる浮遊砂の採取が可能であるか否かを検証することであった。実験の結



第 4 図 各流速における捕集時間（1 時間、3 時間）を変化させた場合の捕集効率（濁水濃度：1000 ppm）

果, 流速・濁水濃度・捕集時間の増加に伴い, 捕集効率は増加することがわかった. フィールドで浮遊砂サンプラーを用いる場合, まず必要な条件として濁水が効率よくサンプラーに流入することが重要であると考えられる. それゆえ, 出水時に流速が大きくなる山地流域においては, 本サンプラーが浮遊砂の採取に有効であるといえよう.

文献

- 恩田裕一・竹中千里・神谷義久・浜島靖典・野々田稔郎 (1997): 放射性核種を用いた侵食土砂の起源推定に関する基礎実験. 砂防学会誌, **50**(4), 19-24.
- Kurashige, Y. (1993): Mechanism on delayed appearance of peak suspended sediment concentration in a small river. Transactions, *Japanese Geomorphological Union*, **14**, 385-405.
- Laubel, A., Kronvang, B., Fjorback, C. and Larsen, S. E. (2002): Time-integrated suspended sediment sampling from a small lowland stream. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, **28**, 1420-1424.
- Motha, J. A., Wallbrink, P. J., Hairsine, P. B. and Grayson, R. B. (2003): Determining the source of suspended sediment in a forested catchment in southeastern Australia. *Water Resources Research*, **39**, 1056.
- Phillips, J. M., Russell, M. A. and Walling, D. E. (2000): Time integrated sampling of fluvial suspended sediment: a simple methodology for small catchments. *Hydrological Processes*, **14**, 2589-2602.
- Russell, M. A., Walling, D. E. and Hodgkinson, R. A. (2000): Appraisal of a simple sampling device for collecting time-integrated fluvial suspended sediment samples. *International Association of Hydrological Sciences Publication*, **263**, 119-127.
- Wallbrink, P. J., Murray, A. S., Olley, J. M. and Olive, L. V. (1998): Determining sources and transit times of suspended sediment in the Murrumbidgee River, New South Wales, Australia, using fallout Cs-137 and Pb-210. *Water Resource Research*, **34**, 879-887.

(2004年6月16日受付, 2004年9月7日受理)