

森林域を流れる小河川の流出特性に関する研究

(A study on the runoff characteristics of the small river that flows through the forest basin)

水野 俊 (Shun Mizuno)

Abstract

In order to clarify the runoff characteristics during a dry weather period, water quality survey were conducted in a small river in the Tohoku University Botanical Garden in East area of Aoba-ku, Sendai-city, Miyagi. Water sampling was conducted from 2010 to 2015 at five points from upstream to downstream. Also, It was discussed by using empirical formula (L-Q formula) and Antecedent Precipitation Factor (APF).

As a result, the following was found.

- 1)Water quality of each item during a dry weather period is stable. but, load amount has declined to decrease discharge. and, Organic-N of the upstream side tends to increase as the terrain changes by the effects of natural disasters occur.
- 2)From empirical formula (L-Q formula), each item of water quality was found to be a dilution type. and, there is change the water quality concentration by the discharge change.
- 3)From Antecedent Precipitation Factor (APF), rainfall which affects the discharge is necessary to add data from the water sampling day to 11 days before.

1. 序論

下水道整備などの進展と共に、家庭、商店、工場などの汚濁源（点源負荷）からの負荷量が減少しているにも関わらず、湖沼などの閉鎖性水域の水質は改善されず、富栄養化が進行している。この原因の一つとして考えられるのは、面源から排出される汚濁負荷（面源負荷）である。しかしながら、面源負荷は、市街地、農地、森林などから負荷が発生するものと考えられており、把握するのは困難であるため、その実態はよく分かっていない状況にある。¹⁾

本研究では、森林域からの面源負荷を把握することを目的としているが、自然負荷が実質的大きい割合を占める河川流域を対象に汚濁解析を実施する場合には、水質予測の精度は自然負荷の評価精度に左右されるので、自然負荷を適正に評価することが重要である。これらのことから、面源

負荷のひとつであり、日本の国土面積の約7割を占める森林域からの汚濁物質の流出特性について検討することを長期的な目的としてきた。

そのために、宮城県仙台市青葉区の東部に位置する東北大学植物園内を流れる小河川を対象として、原則として6月～12月に月一回の頻度で水質調査を6年間(2010年～2015年)行った。また、森林からの流出特性の把握は、晴天時と降雨時での総合的な負荷量を求める必要があるが、今回は、晴天時における負荷量について考察した。

2. 方法

2.1 調査対象区域

調査対象区域²⁾は、宮城県仙台市青葉区の東部に位置する東北大学植物園内の小河川である。この地域は、長年にわたり森に人の手が加わることはほとんどなく、そのために、大都市内では稀に

みる貴重な自然林が残され、植物園としては日本で初めて天然記念物に指定された。従って、本研究の目的である森林域からの流出特性を調査するための適地であるといえる。

植物園内³⁾には、裏沢、本沢、深沢の3つの流域があるが、その中でも1番大きな流域面積をもつ本沢を調査対象とした。図1と表1に示したように下流からA, B, C, D, Eの採水地点を設けた。本沢の流域面積は約253,000 m²、標高差は約75mであり、コナラ、アオハダ、カスミザクラなどの広葉樹が約57%、アカマツ、モミ、スギなどの針葉樹が約43%を占めている。この本沢流域からの流出水は、深沢流域からの流出水と合流し、順に五色沼、長沼、青葉山公園テニスコートを横切って広瀬川に流入している。

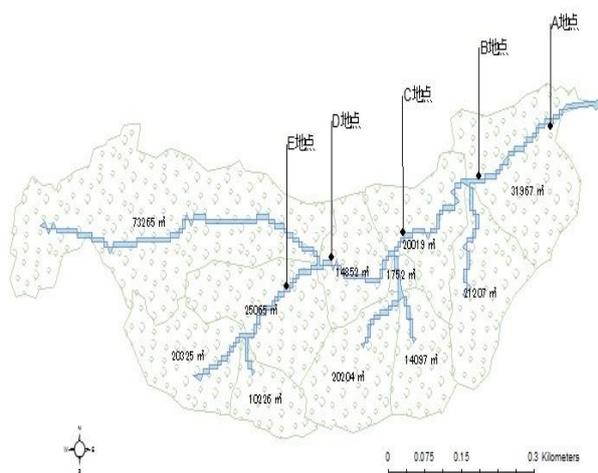


図1 本沢流域と測定地点

表1 各地点の概要

	累計距離(m)	流域面積(m ²)
A	520.9	252,979
B	384.9	231,772
C	215.6	190,546
D	68.9	139,641
E	0	66,376

2.2 分析方法

分析項目は、pH、Cl⁻ (塩化物イオン)、EC、COD、NO₃-N、NO₂-N、NH₄-N、T-N、T-P、TOCである。分析方法は上水試験方法・解説に準拠して行った。TOCについてはTOC計(TOC - 5000A)を使用して分

析した。

2.3 流量測定方法

流量の測定はA、B、C、D、E地点で行った。安定した流量を算出するために、河川の川幅を横断面の形状を与え20cmに固定し、水深、流速を測定した。流速はSF-5511電磁流速計を使用して、川幅の中心で10秒平均のデータを3回以上測定し、それを平均したものを使用した。そして、水深と川幅より断面積を求め、断面積と流速の積によって流量を算出した。

2.4 各地点間の距離と流域面積測定方法

各地点間の距離は巻尺を用いて測定し、流域面積はArc Hydro Tools 2.0⁴⁾を取り込んだArcGIS (ESRI社)を用いて、国土地理院発行の5mメッシュの数値標高モデル(DEM)を基に、図2の手順で流域界の面積を算出した。

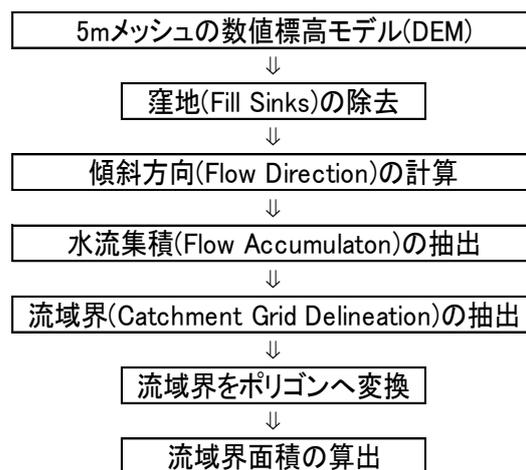


図2 GISを用いた流域面積の算出方法

2.4 L-Q式の算出方法

L-Q式は負荷量と流量の関係式で、得られたデータを元にCOD、T-N、T-Pなどの各負荷量の特徴を下記の(1)式を用いて、2010年～2015年までのデータを用いて計算した。

ここに、A：流域面積(km²)、L：負荷量(g/h)、Q：流量(m³/h)、a、b：係数であり、b<1：希釈型、b>1：洗い出し型、b≒1：濃度一定型である。

$$\left(\frac{L}{A}\right) = a \left(\frac{Q}{A}\right)^b \dots \dots (1)$$

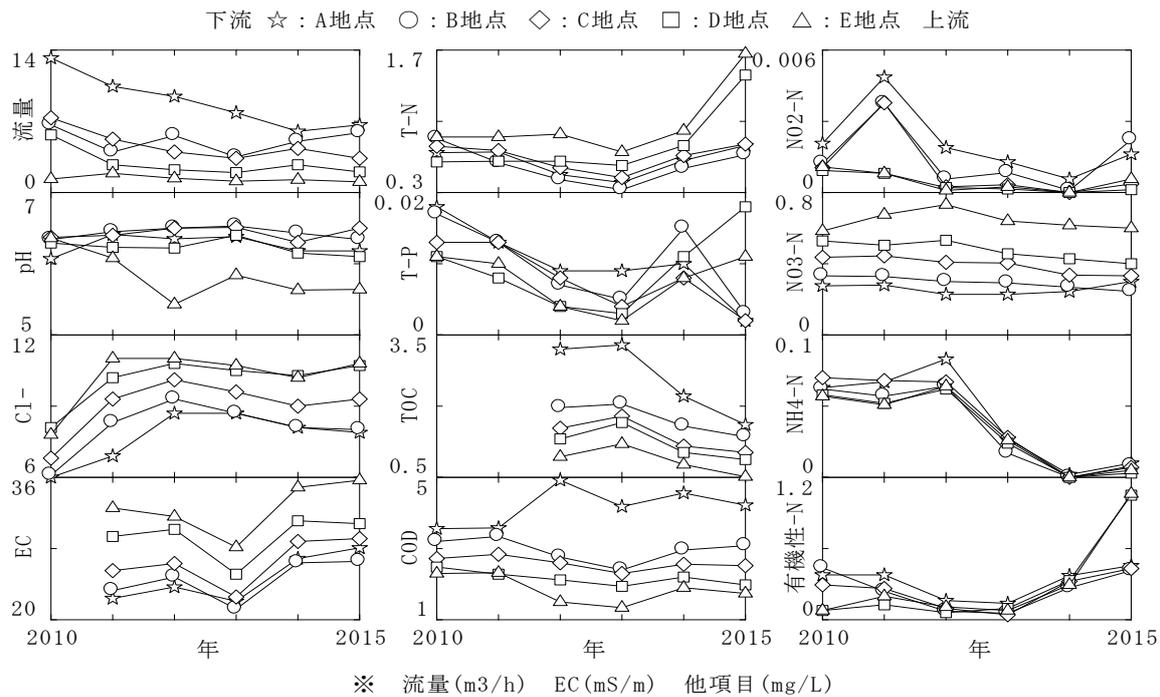


図3 各項目の経年変化(2010年～2015年)

2.5 先行降雨係数(APF)の算出方法

採水当日の流量にどれぐらい前の降雨が影響を与えるのかを知るために先行降雨係数を用いて検討を行った。下記の(2)式で、2010年～2015年までの気象庁の降雨量データを用いて計算した。

ここに、 R_t ：対象とする採水日の t 日前の日雨量(mm)、 t ：採水当日からの日数である。

$$APF = \sum_{t=1}^k \left(\frac{R_t}{t} \right) \cdots \cdots (2)$$

3. 結果と考察

3.1 晴天時の水質

図3に2010年から2015年までの年平均水質項目を示した。①流量は下流へ行くにつれて増加しており、全体的に年々減少している傾向にある。またA地点を見ると、2014年の6.00(m³/h)は、2010年の13.24(m³/h)に比べて約半分の流量になっている。原因のひとつとして、2011年の東北地方太平洋沖地震や2015年の関東・東北豪雨による地形的な変化、または降水量による影響と考えられる。②pHは各地点で安定しているが、E地点は2012年からpH6以下になった。③Cl⁻は下

流へ行くにつれて減少しており、2010年は顕著に減少したが、安定している。④ECは下流へ行くにつれて減少しており、2013年に減少したが、安定している。⑤T-Nは下流へ行くにつれて減少傾向にあり、各地点の濃度は安定している。しかし、2015年の上流側のD、E地点では1.452(mg/L)、1.667(mg/L)と高く、前年に比べて2倍に近い値となった。⑥T-Pは0.035(mg/L)から0.952(mg/L)間で安定している。⑦TOCは下流へ行くにつれて増加しており、年々減少傾向にある。⑧CODは下流へ行くにつれて増加しており、各地点の濃度は安定している。しかし、他と比べてA地点のみ2011年の3.59(mg/L)から2012年の4.93(mg/L)と増加した後、高い濃度を維持している。⑨NO₂-Nは下流へ行くにつれて増加している。また2008年をピークに年々減少し、2012年から安定している。⑩NO₃-NはT-Nの大部分を占めており、下流へ行くにつれて減少傾向にある。⑪NH₄-Nは2012年までは安定していたが、年々減少し、2014年から0に近い濃度になった。⑫有機性-Nは2011年と2015年に増加し、2015年のE地点では1.062(mg/L)で、前年の0.293(mg/L)の4倍近い

濃度になった。原因として上記の流量と同じであると考えられる。

3.2 L-Q 式

表2にA地点における各項目のL-Q式で算出した係数a, bの結果を示した。結果をみると、ほとんどの項目が $b < 1$ となり希釈型となり、TOCとCODは $b > 1$ となり洗い出し型となった。しかし、有機性-Nは決定係数が低いため、今後も晴天時のデータを収集する必要がある。

表2 A地点におけるL-Q式の結果

水質項目	a	b	決定係数 R^2
T-N	6.210	0.566	0.614
NO ₂ -N	73.465	0.269	0.720
NO ₃ -N	5.511	0.837	0.889
NH ₄ -N	35.071	0.160	0.820
有機性-N	0.330	0.960	0.240
T-P	45.363	0.231	0.621
TOC	0.037	2.250	0.780
COD	0.134	1.118	0.816

3.3 先行降雨係数(APF)

採水当日の流量がどれぐらい前の降雨が影響するのかを検証した。その結果を図4に示す。また、図5に流量とAPF11(検証の結果から11日前までの雨量を考慮した)の関係を示した。

図4をみると、11日ではA, B, C地点の値が上昇した。A, B地点のRは0.31と0.29と低く相関はみられないが、C地点では0.49と相関がみられた。

図5をみると、APF11が増加すると、流量が増加するように見えるため、植物園では11日前までの降雨量を考慮する必要がある。

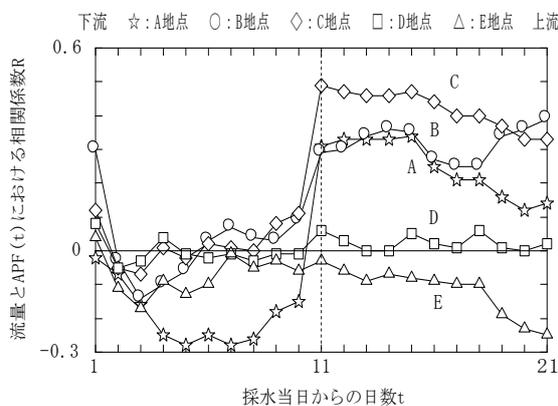


図4 APFの検討結果

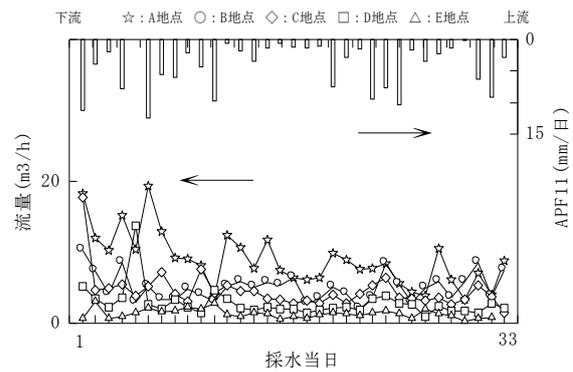


図5 流量とAPF11の関係

4. 結論

森林域からの流出特性や水質の変化を知るために、東北大学植物園内の小河川を上流から下流にかけて水質分析をした。また、先行降雨係数(APF)とL-Q式を用いた結果、以下のことが分かった。

①晴天時における各項目の水質は、年々安定しているが、流量は年々減少しているため、負荷量は減少傾向にあることが分かった。また、上流側における有機性-Nは自然災害の影響で地形的变化が起こると増加する傾向にあると思われる。

②L-Q式から、ほとんどの項目が希釈型であることが分かり、流量によって変化する傾向にあることが分かった。

③先行降雨係数(APF)から、流量に影響を与える雨量は、採水当日から11日前であることが分かった。

参考文献

- 1) 武田育郎、茶園小流域からの窒素、リン、CODの排出負荷量の推定、水環境学会誌 vol125、No. 9、p565、2002年
- 2) 中山正与、森林域内小河川の流出特性と降雨時の水質変化について東北工業大学紀要I:理工学編、第26号、2006年3月、pp1-2
- 3) 高橋恵、山林内(青葉山)を流れる小河川の水質形成に関する研究、東北工業大学大学院工学研究科土木工学専攻卒業論文、2012年、p12
- 4) Arc Hydro Tools 2.0 閲覧日 2015年11月

(<https://blogs.esri.com/esri/arcgis/2011/10/12/arc-hydro-tools-version-2-0-are-now-available/>)