

# 太田川上流域での森林のタイプと流出物質の関係

山本哲也・山場淳史・山原康嗣<sup>1)</sup>・松尾克美<sup>1)</sup>・須藤智典<sup>1)</sup>

山本哲也・山場淳史・山原康嗣・松尾克美・須藤智典：太田川上流域での森林のタイプと流出物質の関係，広島県林技七研報40：1～18，2008.

太田川上流の森林から河川に流入している，フルボ酸鉄，ケイ酸等，海洋の生産性機能向上に関係する物質の動態が確認できた。樹種や施業種によって区分した森林タイプと，そこから流出するフルボ酸鉄等の流出量との関係から，地形条件等を加味した解析がより有効であることが推察された。

「キーワード」 森林タイプ，栄養塩類，フルボ酸鉄

1) 中電技術コンサルタント株式会社

## 1 はじめに

太田川流域の約80%は森林で占められている。特に，上流域は豊富な森林地帯となっている。近年，林齢が高まり多様な取扱いが可能となっているが，それらに伴う森林の水源涵養機能や海洋生産性向上機能への影響等については未解明の部分があり，特に下流まで視野に入れた森林からの物質流出に係る知見は未だに少ない。

本研究では，アマモ場の生産性向上に重要な植物プランクトンの増殖に関与する，森林からの流出物質（フルボ酸鉄など）を調査し森林の海洋生産性向上機能評価技術を開発することを目的とする。

なお，広島県では，開発が進み環境が悪化している広島湾水域における環境再生を図るため，広島県水産試験場（現広島県立総合技術研究所水産海洋技術センター）を中心として，広島県保健環境センター（同保健環境センター），広島県立西部工業技術センター（同西部工業技術センター），広島県立農業技術センター（同農業技術センター），及び当センターの5機関が連携して，2004年度～2006年度横断研究プロジェクト「広島湾流域圏環境再生研究」を実施した。本研究は，その中の1つとして実施されたものである。

なお，本研究は中電技術コンサルタント株式会社と共同で行ったものであり，当所担当分の森林流域に関わる内容を軸として報告する。

## 2 方法

### 2.1 調査地

広島湾に流入する広島県北西部の太田川上流域の山県郡北広島町（旧芸北町）八幡地区，江田島市切串の小流域を対象とした。八幡では既存の植生図（渡邊ら2003）を参考に，現地調査で相観により補足し，アカマツ林，落葉広葉樹林，落葉広葉樹林+人工林，人工林等に区分することによって小流域を設定した（図1～3，表1）。

表1 各流域のタイプ

調査地	No.	面積(km <sup>2</sup> )	タイプ
八幡	2	0.917	落葉広葉樹+人工林
	3	0.470	落葉広葉樹林
	7	1.194	落葉広葉樹林
	9	0.388	人工林
	11	0.984	落葉広葉樹+人工林
	13	0.241	アカマツ林
	14	0.751	アカマツ林
	15	0.427	人工林
	16	1.436	落葉広葉樹+人工林
	17	0.823	人工林
	18	1.540	アカマツ林
	19	1.743	落葉広葉樹林
20	1.586	落葉広葉樹林	
江田島	B	0.192	アカマツ林



図1 調査地位置図



図2 八幡の小流域概略図  
●が流域最下流部の採水地点。①、④、⑥はそれぞれ⑨、⑬、⑮を内包する。

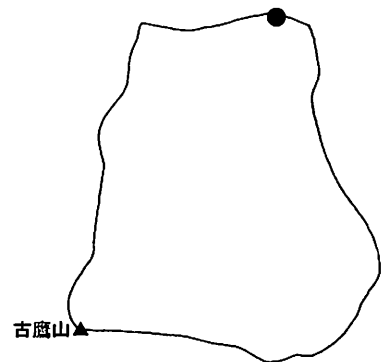


図3 江田島の小流域概略図  
●が流域最下流部の採水地点。

この小流域の番号について本研究では、中電技術コンサルタント株式会社担当分を含む全体計画での番号をそのまま用いることとした。

また、Microimages社のパソコンソフトTNTmipsにより北海道地図(株)の10mDEMを解析し、八幡の各小流域の傾斜(4近傍)の平均値、主流路の勾配、CTI(Compound Topographic Index:地形指数 $1n$ (セルごとの集水面積/ $\tan$ 傾斜))の平均値を算出した(表2)。

なお、八幡のマツ林は約55~80年生、広葉樹林は約40~100年生以上、人工林は約15~40年生であった。八幡の主な地質は流紋岩、花崗岩等であり、主な土壌は褐色森林土、黒ボク土等であった。

表2 各流域の傾斜等

No.	傾斜平均値	主流路勾配	CTI平均値
2	19.1	9.2	5.2
3	18.2	11.7	5.3
7	18.5	11.0	5.5
9	18.8	4.8	4.9
11	19.1	3.0	5.0
13	8.0	2.8	5.9
14	11.1	4.1	5.7
15	20.8	9.3	4.9
16	18.4	4.9	5.1
17	18.4	4.6	5.0
18	17.0	5.0	5.1
19	24.1	5.2	4.6
20	23.9	7.6	4.7

傾斜:4近傍

主流路勾配:主流路の(最高標高-最低標高)/主流路長

CTI: $\ln$ (セルごとの集水面積/ $\tan$ 傾斜)

## 2.2 方法

各小流域の最下流部で河川水を採取し分析に供した。また、八幡地区の中央部の1箇所雨水を採取し分析に供した。

### 2.2.1 河川流量測定方法

採水時の河川流量はプロベラ式流速計及び浮子流し法による流速法により測定し、測定できなかった小流域は、それを包含する流域の面積比と河川流量から算出する流域換算により求めた。

### 2.2.2 河川水採水方法

調査は、2日以上連続した無降雨時(平水時)と降雨時(出水時)に行った。平水時は2004年は9月(雨

水8月)、11月、2005年は5、8、10月に行った。出水時は2006年の梅雨期(7月)及び台風期(11月)に、主な森林タイプ(アカマツ林、落葉広葉樹林、人工林)を代表する流域(No.13, No.7, No.9)について、1時間間隔で10回程度採水した。2006年の出水時調査については、各採水地点の時間-水位曲線の、水位が急増する直前、ピーク時、収束時など変曲点に相当するサンプルを抽出し分析に供した。採水に際してはポリ瓶に直接採水し分析に供した。

### 2.2.3 雨水採水方法

雨水は渓流水の採水と同時期に、平水時は約1~2週間、出水時は採水とほぼ同時間の約10時間、径30cmのポリロートと20Lのポリタンクを使用した簡易式雨水採取器を設置して採水した。貯留水の変質を抑えるためポリタンクを黒色のポリエチレンシートで包んで遮光し、さらに発泡ポリエチレンシートで覆った。

### 2.2.4 分析項目

分析対象物質は一般的な栄養塩類である窒素(全窒素、アンモニア態窒素、硝酸態窒素)、リン(全リン、リン酸)、ケイ酸、及びフルボ酸鉄(土壤中の腐植のフルボ酸と鉄が結合した物質)とした。分析項目は表3、分析方法は表4のとおりで分析機関が分析を行った。本報ではフルボ酸鉄はIgarashi et al.(1982)の変法で、ICP発光分光分析(波長238.204nm)によるものとした。

表4 分析項目及び方法

項目	計量方法
全窒素	JISK0102(1998)45.4 定量下限値0.01mg/ℓ
アンモニア態窒素	JISK0102(1998)42.2 定量下限値0.01mg/ℓ
硝酸態窒素	JISK0102(1998)43.2.3 定量下限値0.005mg/ℓ
全リン	JISK0102(1998)46.3.1 定量下限値0.003mg/ℓ
リン酸	JISK0102(1998)46.1.1 定量下限値0.003mg/ℓ
ケイ酸	JISK0101(1998)44.1 定量下限値0.5mg/ℓ
フルボ酸鉄	Igarashi et al.(1982)の変法 定量下限値0.03mg/ℓ
溶存有機炭素DOC	JISK0102(1998)22.2 定量下限値0.2mg/ℓ
全有機炭素TOC	JISK0102(1998)22.2 定量下限値0.2mg/ℓ
溶存性窒素	河川水質試験方法(案)標準法 定量下限値0.01mg/ℓ
溶解性リン	河川水質試験方法(案)標準法 定量下限値0.003mg/ℓ

表3 各流域のタイプ及び分析項目

調査地	No.	調査年 タイプ	2004				2005					2006				
			窒素	リン	ケイ酸	フルボ酸鉄	窒素	リン	ケイ酸	フルボ酸鉄	DOC	窒素	リン	ケイ酸	フルボ酸鉄	TOC
八幡		雨水	●	●	●	●	○	-	-	-	●	○	-	-	-	-
	2	落葉広葉樹+人工林	●	●	●	●	●	○	●	●	●	-	-	-	-	-
	3	落葉広葉樹林	●	●	●	●	●	○	●	●	●	-	-	-	-	-
	7	落葉広葉樹林	●	●	●	●	●	○	-	●	●	●	●	●	●	●
	9	人工林	●	●	●	●	○	○	-	-	●	●	●	●	●	●
	11	落葉広葉樹+人工林	●	●	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	13	アカマツ林	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●
	15	人工林	●	●	●	●	○	○	-	-	●	-	-	-	-	-
	16	落葉広葉樹+人工林	●	●	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	17	人工林	●	●	●	●	○	○	-	-	●	-	-	-	-	-
	18	アカマツ林	●	●	●	●	○	○	-	-	●	-	-	-	-	-
	19	落葉広葉樹林	●	●	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	落葉広葉樹林	●	●	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
江田島	B	アカマツ林	●	●	●	●	●	○	●	●	●	-	-	-	-	-

●: 2004と2005は全窒素, アンモニア態窒素, 硝酸態窒素, 2006は全窒素及び一部, 溶存性窒素  
 ○: 全窒素, 硝酸態窒素  
 ●: 2004と2005は全リン, リン酸態リン, 2006は全リン及び一部, 溶存性リン  
 ○: 全リン

### 3 結果と考察

#### 3.1 平水時の調査結果

##### 3.1.1 平水時の河川流量

平水時の河川流量は表5のとおりで、概して2004年が2005年よりも大であった。

表5 各小流域の調査時の河川流量

調査地	No.	タイプ	流量測定方法	面積(km <sup>2</sup> )	流量(m <sup>3</sup> /s)				
					2004		2005		
					1回目	2回目	1回目	2回目	3回目
八幡	2	落葉広葉樹+人工林	流域換算	0.917	0.055	0.037	0.003	0.027	0.024
	3	落葉広葉樹林	流域換算	0.470	0.031	0.019	0.001	0.014	0.012
	7	落葉広葉樹林	流域換算	1.194	0.059	0.039	0.032	0.035	0.031
	9	人工林	流速法(浮子流し)	0.388	0.026	0.009	0.005	0.016	0.018
	11	落葉広葉樹+人工林	流速法(流速計1点法)	0.984	0.044	0.022	-	-	-
	13	アカマツ林	流域換算・流速法*	0.241	0.015	0.011	0.004	0.005	0.008
	14	アカマツ林	流速法(浮子流し)	0.751	0.049	0.033	-	-	-
	15	人工林	流域換算	0.427	0.021	0.011	0.010	0.011	0.010
	16	落葉広葉樹+人工林	流速法(流速計1点法)	1.436	0.069	0.036	-	-	-
	17	人工林	流速法(流速計1点法)	0.823	0.033	0.022	0.018	0.020	0.020
	18	アカマツ林	流速法(流速計1点法)	1.540	0.085	0.048	0.035	0.038	0.037
19	落葉広葉樹林	流速法(流速計1点法)	1.743	0.071	0.043	-	-	-	
20	落葉広葉樹林	流速法(流速計1点法)	1.586	0.061	0.042	-	-	-	
江田島	B	アカマツ林	流速法(浮子流し)	0.192	0.00513	0.001968	0.000631	0.000822	0.001052

\*: No.13 の2004は流域換算, 2005は流速法(浮子流し)による

八幡の採水日は2004年1回目9/16, 2回目11/17, 2005年1回目5/24, 2回目8/19, 3回目10/18

江田島の採水日は2004年1回目10/5, 2回目11/29, 2005年1回目5/26, 2回目8/9, 3回目11/2

### 3. 1. 2 平水時の物質濃度

#### 3. 1. 2. 1 全窒素

図4は全窒素濃度を表したものである。雨水からは0.19~0.56mg/L検出されたが、八幡、江田島を合わせて森林域では0.03~0.49mg/Lで、概して雨水より低かった。タイプでは広葉樹林がばらつきが大きく平均値ではマツ林、人工林よりも高かった。

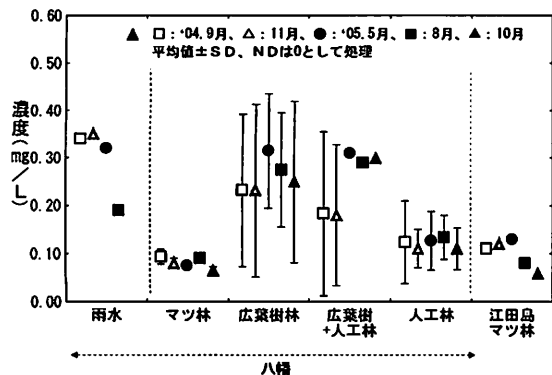


図4 全窒素濃度

#### 3. 1. 2. 2 アンモニア態窒素

図5は平水時調査のアンモニア態窒素濃度を表したものである。雨水からは0.01~0.25mg/L検出されたが、八幡、江田島を合わせて森林域では定量下限値未満~0.03mg/Lで、森林域の方が低かった。タイプでは顕著な差は見られなかった。

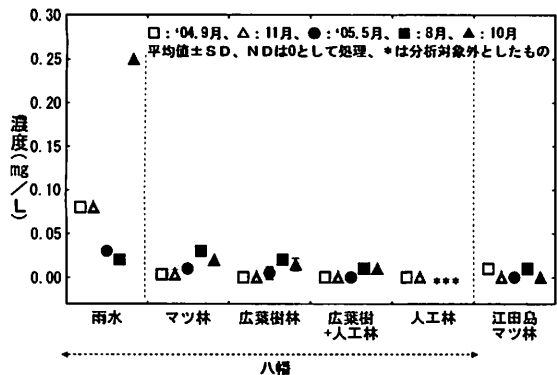


図5 アンモニア態窒素濃度

#### 3. 1. 2. 3 硝酸態窒素

図6は硝酸態窒素濃度を表したものである。雨水からは0.110~0.220mg/L検出されたが、八幡、江田島を合わせて森林域では0.010~0.470mg/Lで、森林域の方が低かった。

全窒素と同様、広葉樹林がばらつきが大きく平均値ではマツ林、人工林よりも高かった。

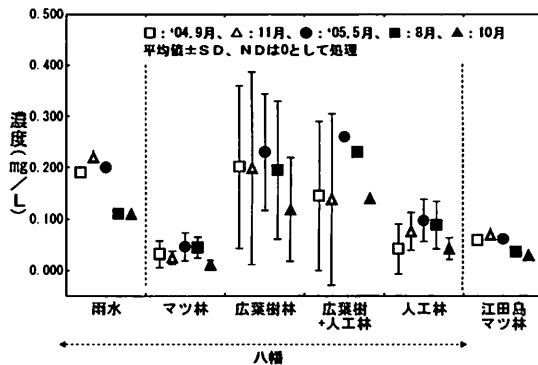


図6 硝酸態窒素濃度

#### 3. 1. 2. 4 全リン

図7は全リン濃度を表したものである。雨水からは定量下限値未満~0.014mg/L検出されたが、八幡、江田島を合わせて森林域からは下限値未満~0.007mg/L検出され、概して雨水より低かった。

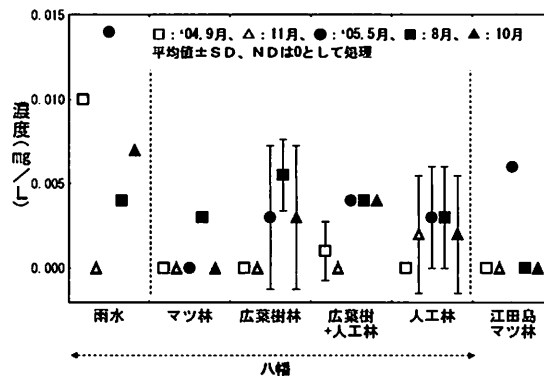


図7 全リン濃度

#### 3. 1. 2. 5 リン酸

リン酸は採水した全地点、全時期で定量下限値未満であった。

#### 3. 1. 2. 6 ケイ酸

図8は平水時調査のケイ酸濃度を表したものである。雨水からは定量下限値未満であった。八幡はタイプごとに大差はなく、10mg/L程度であり、江田島のマツ林は八幡の倍程度の20mg/L程度であった。これらから、ケイ酸は森林域において付与されたことが推察された。

八幡ではタイプ、採水時期に関わりなくほぼ同程度であり、ケイ酸が地質由来によるためと推察された。

表層地質は、八幡は花崗岩や流紋岩等からなり、江田島は花崗岩で、両方とも白亜紀の地質であり、年代に差はない。花崗岩はほかの基盤岩類に比べて、一般に風化しやすく、標高300~600mの吉備高原面や200m前後またはそれ以下の瀬戸内面などに深層風化帯を形成して分布していると言われている(低引1990)。ケイ酸濃度の差は江田島の花崗岩の方が風化が進行していたことによると推察された。

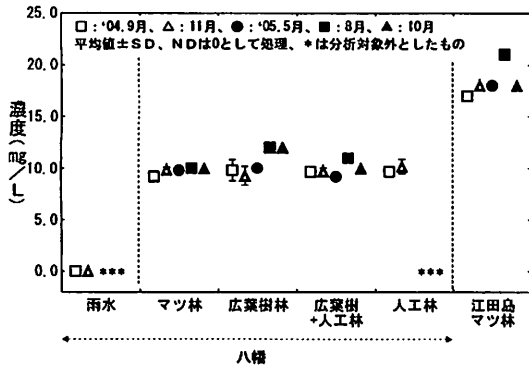


図8 ケイ酸濃度

3. 1. 2. 7 フルボ酸鉄

図9は平水時調査のフルボ酸鉄濃度を表したものである。雨水からは定量下限値未満であったが河川水からは下限値未満~0.03mg/L検出された。比較的低濃度であったが、フルボ酸鉄は森林域において付与されたことが推察された。

No.14は対象森林流域の中では比較的高濃度検出されたが、湿地を含む流域であり、湿地の影響が推察された。また、No.3はH17年度に比較的高濃度検出されたが、採水地点付近の出水による地表面の攪乱が顕著であったことが影響していると推察された。タイプについては松永(1993)などから類推されることと異なり、広葉樹林は必ずしも高くはなかった。

江田島のマツ林は、全て下限値未満であった。

3. 1. 3 流域の条件と平水時濃度の関係

流域の傾斜等の条件と主要な物質の平水時濃度の関係を表す。ただし、他要因の影響を極力除外するため、No.3とNo.14は対象から除外した。

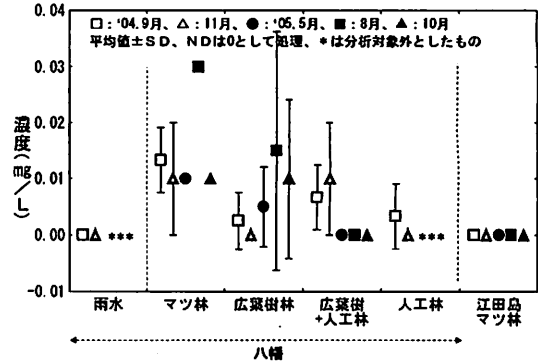


図9 フルボ酸鉄濃度

3. 1. 3. 1 傾斜と各物質濃度

図10~12は傾斜と各物質の濃度の関係を表したものである。フルボ酸鉄については傾斜の増大にともない濃度が低下する傾向が見られ、20度以上では検出されなかった。

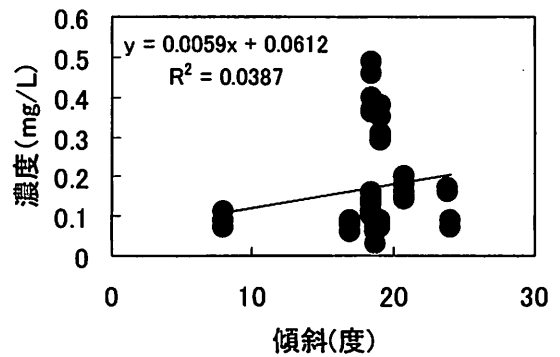


図10 傾斜と全窒素濃度

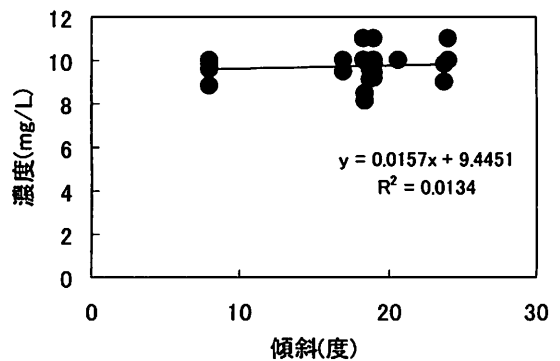


図11 傾斜とケイ酸濃度

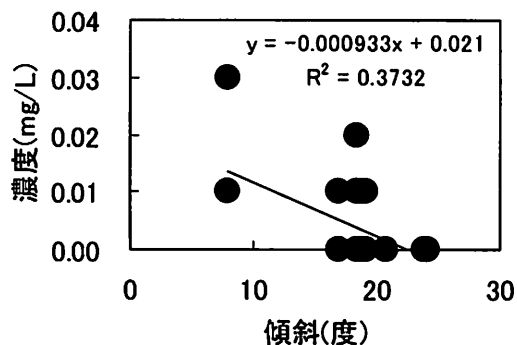


図12 傾斜とフルボ酸鉄濃度

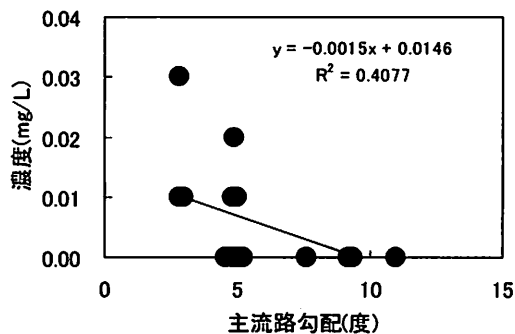


図15 主流路勾配とフルボ酸鉄濃度

### 3. 1. 3. 2 主流路勾配と物質濃度

図13~15は主流路勾配と各物質の濃度の関係を表したものである。全窒素については主流路勾配の増大にともない濃度が増加する傾向が見られ、フルボ酸鉄については約8度以上では検出されなかった。

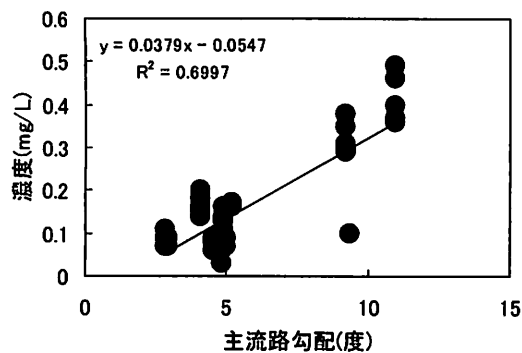


図13 主流路勾配と全窒素濃度

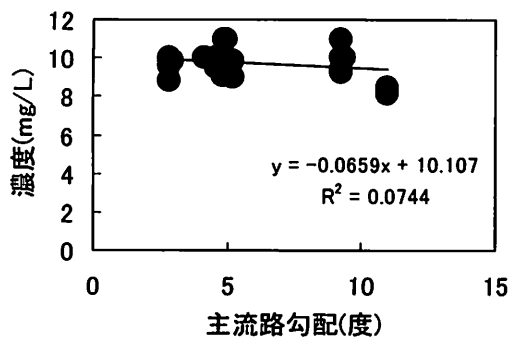


図14 主流路勾配とケイ酸濃度

### 3. 1. 3. 3 CTIと物質濃度

図16~18はCTIと各物質の濃度の関係を表したものである。CTIが大きいほど地形が緩やかなことを意味するが、フルボ酸鉄についてはCTIの増大にともない、濃度が増加する傾向が見られた。

Shibata et al. (2004) では、北海道天塩川流域で、森林域から検出される溶存態鉄濃度はCTIと正の相関が見られたなど地形との関係を考察している。また、その鉄濃度はDOC（溶存有機炭素）とも相関があると報告しており、フルボ酸鉄に近いものと推測される。

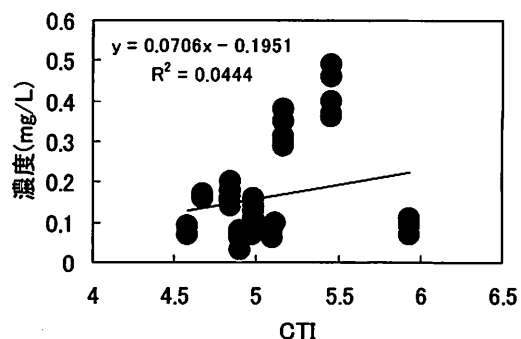


図16 CTIと全窒素濃度

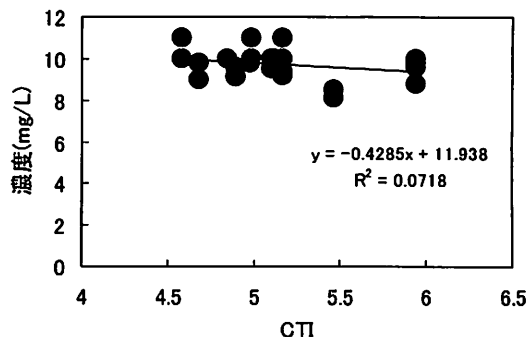


図17 CTIとケイ酸濃度

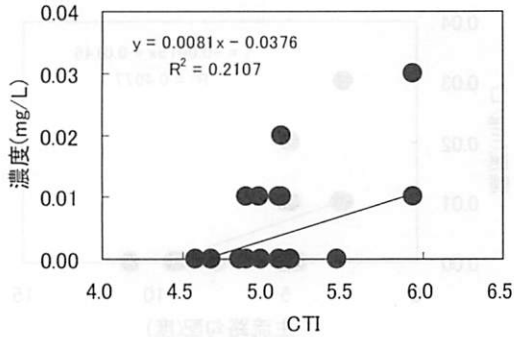


図18 CTIとフルボ酸鉄濃度

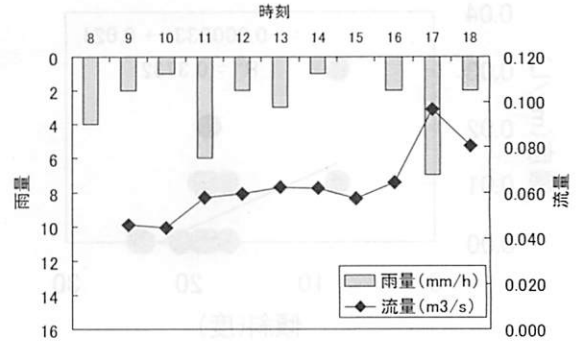


図21 No.13 (マツ林) での7/24流量の推移

3. 2 出水時の調査結果

3. 2. 1 河川流量

3. 2. 1. 1 7/24の調査時河川流量

図19~21は7/24調査時の調査流域の河川流量を表したものである。雨量は気象庁のアメダス八幡観測所の降水量データによる。

流量の増加は比較的なだらかであったが、調査時間中の30mmに加え調査開始前の先行降雨が約25mmあったため(図22)と推察された。

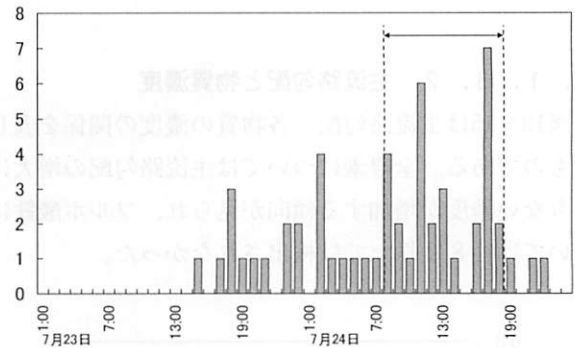


図22 7/23-7/24雨量の推移  
7/22は無降雨

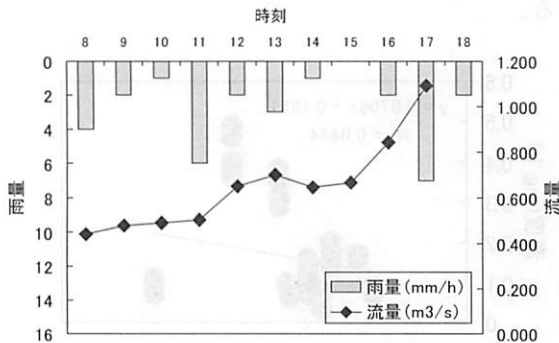


図19 No.7 (広葉樹林) での7/24流量の推移

3. 2. 1. 2 11/11の調査時河川流量

図23~25は11/11調査時の調査流域の河川流量を表したものである。7/24同様、雨量は気象庁のアメダス八幡観測所の降水量データによる。各流域、降雨が中断した後、流量が低減し、降雨が再開した後に流量が増加した。

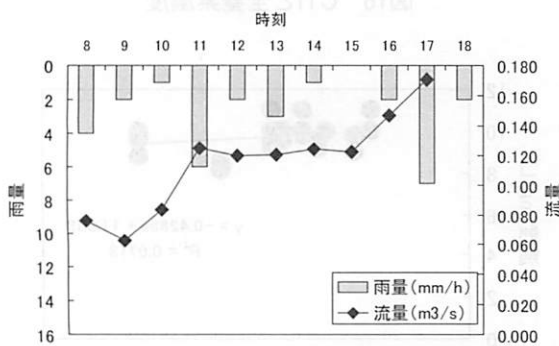


図20 No.9 (人工林) での7/24流量の推移

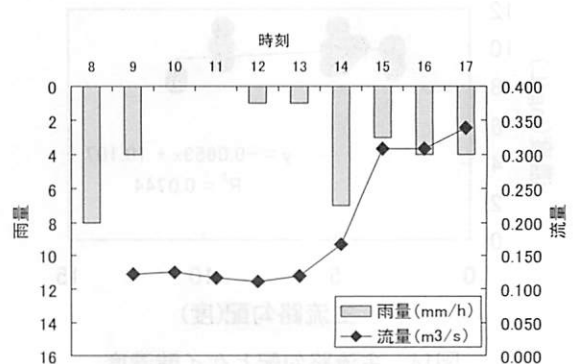


図23 No.7 (広葉樹林) での11/11流量の推移



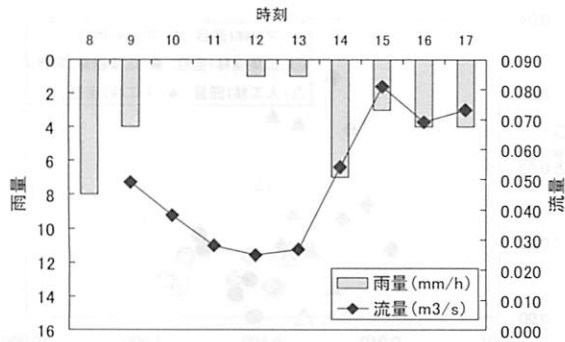


図24 No. 9 (人工林) での11/11流量の推移

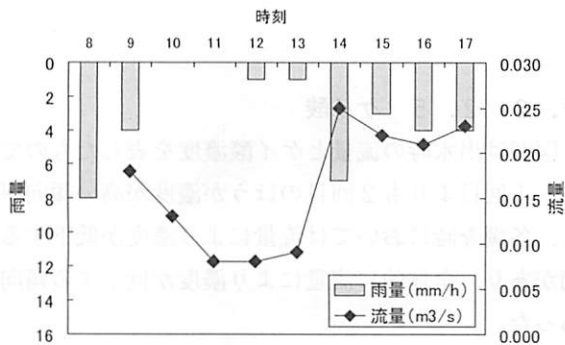


図25 No.13 (マツ林) での11/11流量の推移

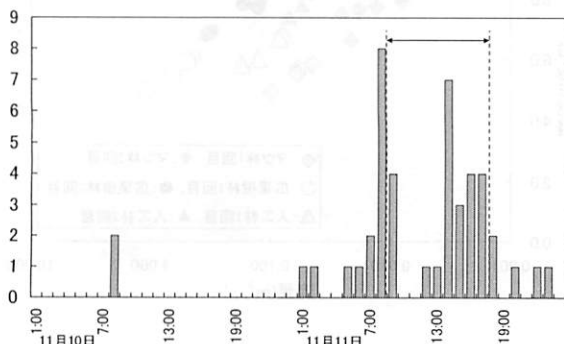


図26 11/10-11/11雨量の推移  
11/9は無降雨

調査時間中の総雨量31mmは、7/24の総雨量とはほぼ同程度であったが、流量の増加が比較的急で、調査開始前の先行降雨が少なかったこと(図26)によると推察された。

7/24よりも11/11の流量が少なかったのは、調査日前日以前も含む先行降雨の差が影響していると思われる(図27)。

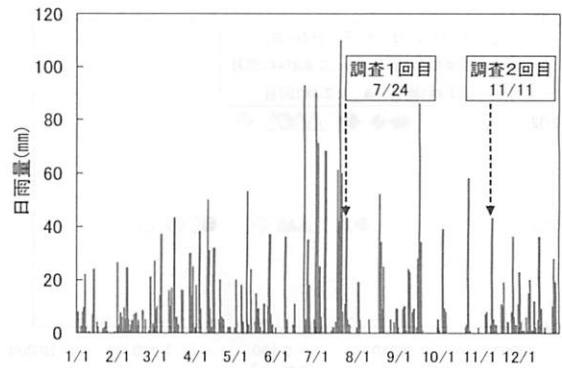


図27 2006年のアメダス八幡観測所の雨量度

### 3. 2. 2 出水時濃度

#### 3. 2. 2. 1 全窒素

図28は出水時の流量と全窒素濃度をあらわしたものである。1回目よりも2回目の方が濃度が高い傾向があり、各調査時においては流量により濃度が增大する傾向があった。

1回目の調査においては7/24までの先行降雨により流量が増大し、全窒素は連続する降雨により、既に、ある程度流出をし続けていると推察された。

2回目の調査においては11/11調査開始直前にある程度大きい降雨が集中しており、調査開始時にはピークの状態から、低減し始めていることが推測された。

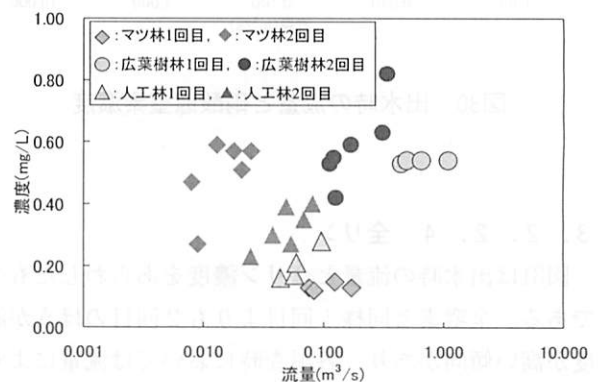


図28 出水時の流量と全窒素濃度

#### 3. 2. 2. 2 アンモニア態窒素

図29は出水時の流量とアンモニア態窒素濃度をあらわしたものである。全窒素と異なり1回目と2回目の顕著な差は見られなかった。

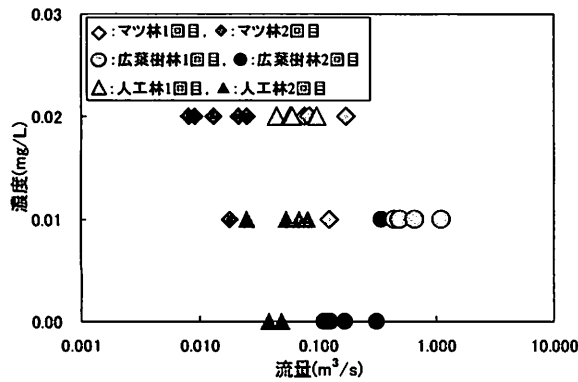


図29 出水時の流量とアンモニア態窒素濃度

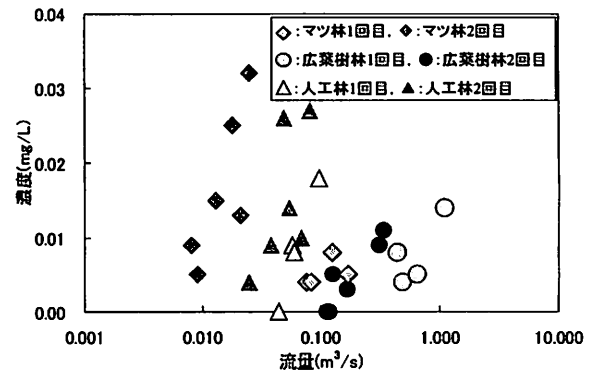


図31 出水時の流量と全リン濃度

### 3. 2. 2. 3 硝酸態窒素

図30は出水時の流量と硝酸態窒素濃度をあらわしたものである。硝酸態窒素は、1回目よりも2回目のほうが濃度が高い傾向があるなど、全窒素と同様な傾向が見られた。

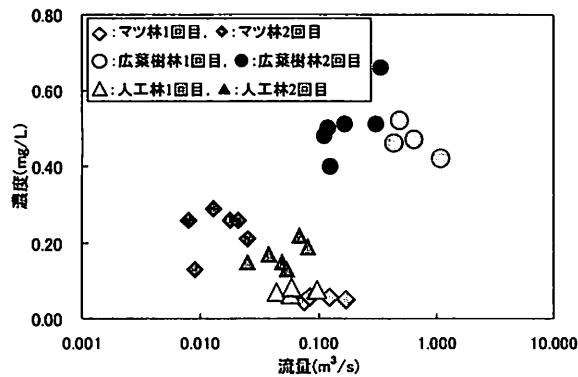


図30 出水時の流量と硝酸態窒素濃度

### 3. 2. 2. 4 全リン

図31は出水時の流量と全リン濃度をあらわしたものである。全窒素と同様1回目よりも2回目のほうが濃度が高い傾向があり、各調査時においては流量により濃度が增大するなどの傾向があった。

### 3. 2. 2. 5 ケイ酸

図32は出水時の流量とケイ酸濃度を表したものである。1回目よりも2回目のほうが濃度が高い傾向があり、各調査時においては流量により濃度が低下する傾向があり、全体的に流量により濃度が低下する傾向があった。

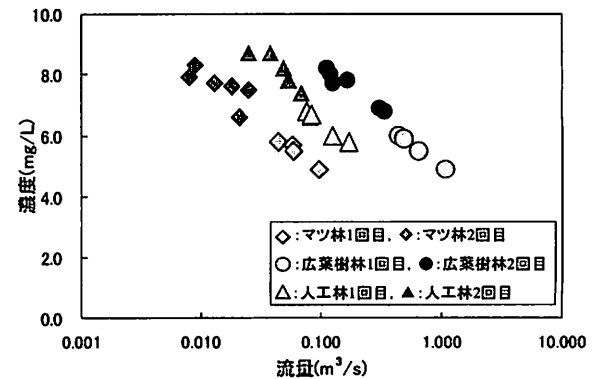


図32 出水時の流量とケイ酸濃度

### 3. 2. 2. 6 フルボ酸鉄

図33は出水時の流量とフルボ酸鉄濃度を表したものである。マツ林と人工林では、1回目よりも2回目のほうが濃度が高い傾向があった。

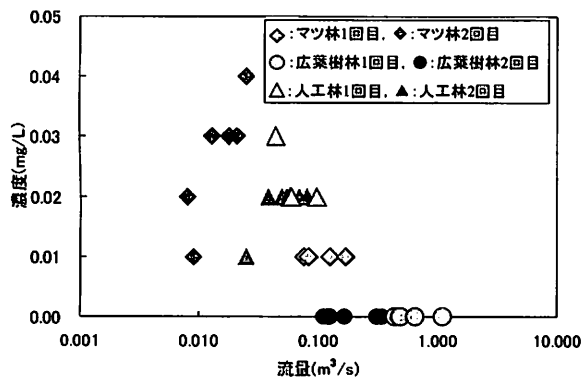


図33 出水時の流量とフルボ酸鉄濃度

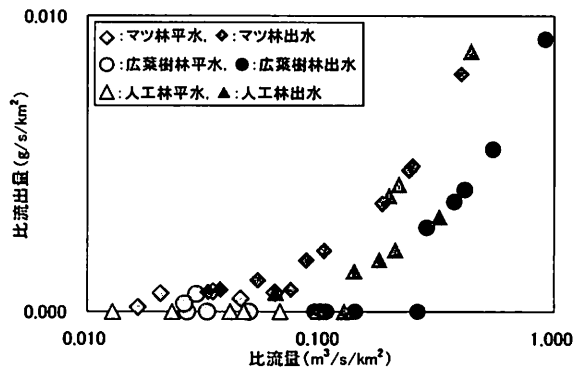


図35 比流量とアンモニア態窒素比流出量

### 3. 3 森林タイプと流出物質の関係

#### 3. 3. 1 平水時及び出水時の物質比流出量

各小流域の単位面積当たりの河川流量（比流量）と単位面積当たりの物質の流出量（比流出量）の関係を表した。

##### 3. 3. 1. 1 全窒素

図34は平水時と出水時の比流量と全窒素比流出量をあらわしたものである。平水時に比べ出水時は物質質量としては、いずれも数十倍に達していることがわかる。

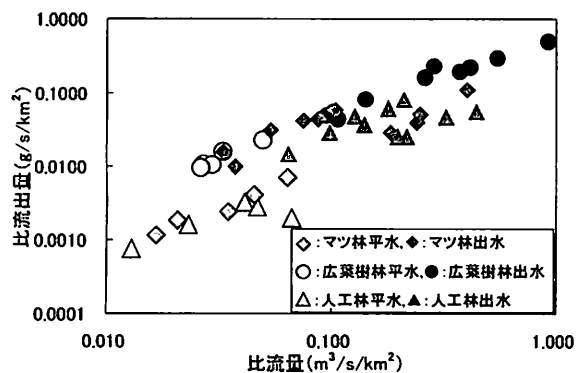


図34 比流量と全窒素比流出量

##### 3. 3. 1. 2 アンモニア態窒素

図35は平水時と出水時の比流量とアンモニア態窒素比流出量をあらわしたものである。平水時には流出は少ないが、出水時は比流量に対応して比流出量が増大していることがわかる。

##### 3. 3. 1. 3 硝酸態窒素

図36は平水時と出水時の比流量と硝酸態窒素比流出量をあらわしたものである。平水時に比べ出水時は物質質量としては、いずれも数十倍に達していることがわかる。

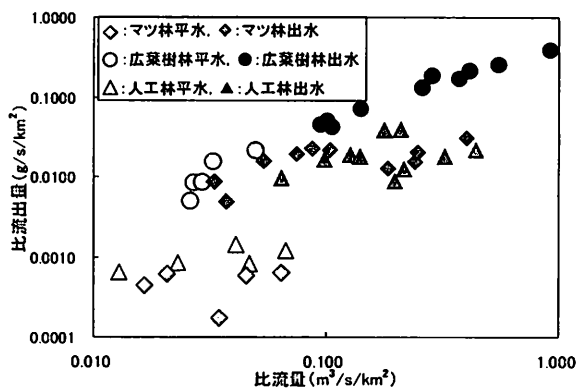


図36 比流量と硝酸態窒素比流出量

##### 3. 3. 1. 4 全リン

図37は平水時と出水時の比流量と全リン比流出量をあらわしたものである。平水時にはほとんど流出していないが、出水時は比流量に対応して比流出量が増大していることがわかる。

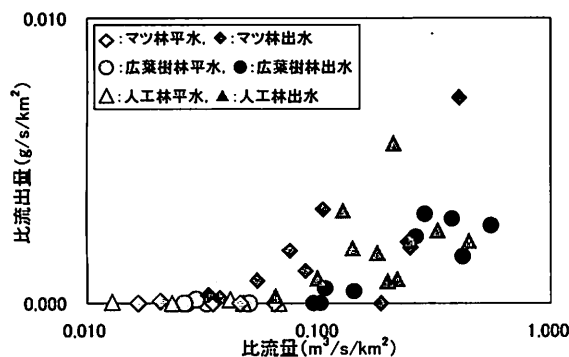


図37 比流量と全リン比流出量

### 3. 3. 1. 4 ケイ酸

図38は平水時と出水時の比流量とケイ酸比流出量をあらわしたものである。

比流量により比流出量がそのまま増大する傾向となった。

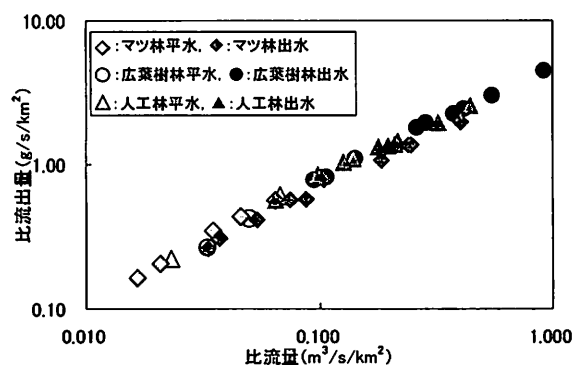


図38 比流量とケイ酸比流出量

### 3. 3. 1. 5 フルボ酸鉄

図39は平水時と出水時の比流量とフルボ酸鉄比流出量をあらわしたものである。アンモニア態窒素同様、平水時には流出は少ないが、出水時は比流量に対応して比流出量が増大していることがわかる。

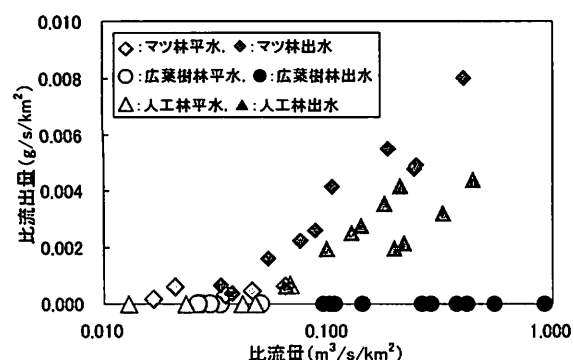


図39 比流量とフルボ酸鉄比流出量

## 4 森林タイプと流出物質の関係

「3. 1. 3 流域の条件と平水時濃度の関係」で示したように、小流域から流出する渓流水中の物質濃度は平水時のフルボ酸鉄等に地形の影響がみられた。フルボ酸鉄は傾斜の増大に伴い減少する傾向があった。フルボ酸鉄の分析値から、傾斜とフルボ酸鉄濃度の回帰式からの推定値を控除し傾斜の影響を除くと、フルボ酸鉄ではマツ林が落葉広葉樹林、人工林よりも約0.004mg/L高かった(図40)。

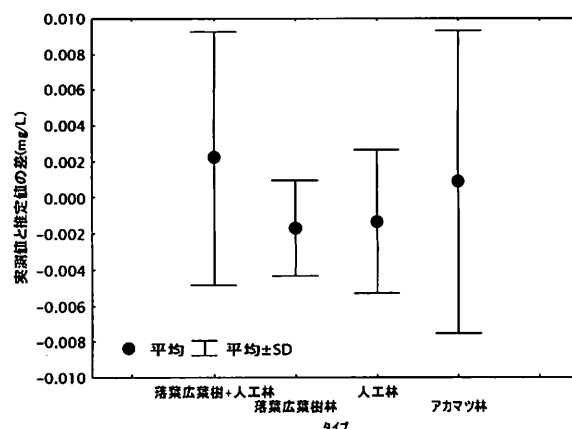


図40 傾斜の差を控除したフルボ酸鉄濃度

## 5 まとめ

以上をまとめると以下ようになる。

### 5. 1 出水時の流出物質

- ①雨水には含まれていないケイ酸，フルボ酸鉄が森林から流出していた。
- ②ケイ酸は上流域では約10mg/Lが森林から安定して流出していた。江田島では、その2倍程度の濃度であった。
- ③フルボ酸鉄は森林からの流出濃度が0.03mg/L以下と低く、傾斜では20度以上、主流路の勾配では8度以上の急傾斜の小流域では検出されなかった。
- ④窒素は0.03~0.49mg/Lで、リンは検出限界未満~0.007mg/Lが、森林域から流出しており、いずれも雨水よりも濃度は低い傾向にあった。

### 5. 2 出水時の流出物質

- ①ケイ酸の濃度は平水時よりも低かった。ケイ酸の流出量としては平水時より大で、流量によって増加した。この傾向に3小流域の差はなかった。
- ②フルボ酸鉄の濃度は0.04mg/L以下で平水時と大差

なかったが、フルボ酸鉄の流出量としては、より大であった。

③窒素の濃度は0.12~0.82mg/Lで、リンの濃度は検出限界未満~0.032mg/Lと平水時よりも変動の幅が大であった。

### 5. 3 森林タイプと流出物質の関係

小流域から流出する渓流水中の物質濃度は平水時のフルボ酸鉄に傾斜の増大に伴い減少するなど地形の影響がみられた。傾斜の影響を除くと、フルボ酸鉄ではマツ林が落葉広葉樹林、人工林よりも約0.004mg/L高かった。

太田川上流の森林は雨に含まれる微量の窒素とリンを受け取り、小流域の中でケイ酸とフルボ酸鉄を加えて溪流に海洋生産性に関わる物質を流出させていた。その平水時の濃度は、小流域の森林タイプによって若干の差があり、降雨による出水時には渓流水の流量によって各物質の流出量はおおむね増加した。したがって森林タイプを変えることによってフルボ酸鉄等の流出量に若干の差を生じさせる可能性があると思われる。

## 6 おわりに

フルボ酸鉄は松永(1993)などにより海域の生産性に関与する物質として広く知られるようになった物質であるが、一方で谷口(1998)など「磯焼け」の原因としては否定的な見解もある。近年は実験的手法(たとえば山本ら(2005))により海藻の生育への関与に関する報告がされている。

流域における溶存鉄の流出量についてはShibata et al.(2004)など近年知見が蓄積されているが、本州におけるフルボ酸鉄の既存の調査事例は少なく、水産庁漁港漁場整備部ほか(2004)の岩手県における調査では、フルボ酸鉄はほとんどの地点で検出されなかった。本研究では森林域で低濃度ながらも河川水に付与されたことが確認されたのは重要な知見であると考えられる。

## 7 謝辞

北海道大学柴田英昭准教授には貴重な論文を送付いただいた。林業技術センター技術支援部池田作太郎主任、時光博史次長には、調査に同行いただいた。以上

の皆様を含め、本研究にご助力いただいた皆様に厚く御礼申し上げます。

## 8 引用文献

Igarashi Kohji, Matsunaga Katsuhiko, Koike Kimihiro, Toya Kenji, Fukase Sigeru (1982) Determination of organically-bound Iron in fresh and sea water 33(1).51-55. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.

松永勝彦(1993) 森が消えれば海も死ぬ。190pp, 講談社, 東京。

Shibata Hideaki, Konohira Yukichi Satoh Fuyuki, Sasa Kaichiro (2004) Export of dissolved iron and the related solutes from terrestrial to stream ecosystems in northern part of Hokkaido, northern Japan. In, 'Report on Amur-Okhotsk Project: Proceedings of the Kyoto Workshop 2004', Research Institute for Humanity and Nature, 87-92, Kyoto.

低引洋隆(1990) 1. 中国地方の地形・地質, および地盤特性 1. 中国地方の地形・地質, 土と基礎38(3), 9-14.

水産庁漁港漁場整備部・林野庁森林整備部・国土交通省河川局(2004) 森・川・海のつながりを重視した豊かな漁場海域環境創出方策検討調査報告書。399pp, 東京。

谷口和也(1998) 磯焼けを海中林へ。196pp, 裳華房, 東京。

山本光夫・濱砂信之・篠原亮・上田成・沖田伸介・荒牧寿弘・福嶋正巳・辰巳憲司・堀家茂一・渋谷正信・定方正毅(2005) 工業廃棄物及びバイオマスを利用した磯焼け防止技術に関する研究. 第70回化学工学会研究発表講演要旨集, 810.

渡邊園子・和田秀次・大竹邦暁・山場淳史・白川勝信・中越信和(2003) 芸北町八幡地区の植生. 高原の自然史, 8:1-14.

附表1 平水時の物質濃度-1

調査地	No.	採水時期*	全窒素						アンモニア態窒素						硝酸態窒素						DOC		
			161	162	171	172	173	177	161	162	171	172	173	177	161	162	171	172	173	171	172	173	
八幡		雨水	0.34	0.35	0.32	0.19	0.56	0.08	0.08	0.03	0.02	0.25	0.190	0.220	0.200	0.110	0.110	0.110	—	—	—		
	2	広葉樹+人工林	0.38	0.35	0.31	0.29	0.3	ND	ND	ND	0.01	0.01	0.310	0.330	0.260	0.230	0.140	0.6	0.4	0.4			
	3	落葉広葉樹林	0.21	0.21	0.23	0.19	0.13	ND	ND	0.01	0.02	0.02	0.170	0.160	0.150	0.100	0.047	0.7	1.0	0.8			
	7	落葉広葉樹林	0.46	0.49	0.40	0.36	0.37	ND	ND	ND	0.01	0.02	0.430	0.470	0.310	0.290	0.190	0.4	0.4	0.4			
	9	人工林	0.03	0.07	0.06	0.08	0.06	ND	ND	—	—	—	0.018	0.037	0.051	0.035	0.018	0.4	0.6	0.6			
	11	広葉樹+人工林	0.07	0.09	—	—	—	ND	ND	—	—	—	0.040	0.032	—	—	—	—	—	—			
	13	マツ林	0.11	0.09	0.07	0.09	0.07	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.010	0.013	0.027	0.030	0.005	0.6	0.7	0.6			
	14	マツ林	0.08	0.07	—	—	—	ND	ND	—	—	—	0.025	0.024	—	—	—	—	—	—			
	15	人工林	0.20	0.15	0.18	0.16	0.14	ND	ND	—	—	—	0.098	0.110	0.130	0.110	0.057	0.4	0.4	0.4			
	16	広葉樹+人工林	0.10	0.10	—	—	—	ND	ND	—	—	—	0.084	0.052	—	—	—	—	—	—			
17	人工林	0.14	0.11	0.14	0.16	0.13	ND	ND	—	—	—	0.010	0.082	0.110	0.120	0.053	0.5	0.5	0.5				
18	マツ林	0.09	0.08	0.08	0.09	0.06	ND	ND	—	—	—	0.060	0.038	0.065	0.059	0.017	0.5	0.6	0.5				
19	落葉広葉樹林	0.09	0.07	—	—	—	ND	ND	—	—	—	0.066	0.036	—	—	—	—	—	—				
20	落葉広葉樹林	0.17	0.16	—	—	—	ND	ND	—	—	—	0.140	0.130	—	—	—	—	—	—				
江田島	B	マツ林	0.11	0.12	0.13	0.08	0.059	0.01	ND	0.01	ND	0.059	0.070	0.061	0.036	0.030	0.9	1.1	1.1				

\* :2004(H.16)年1回目採水日を161, 2回目採水日を162, …と表記した。



附表3 出水時調査結果1回目(2006年7月24日)

調査地点	調査時間帯	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	雨量(mm/h)	4	2	1	6	2	3	1	0	2	7	2
7	気温(°C)	18.5	19.3	19.2	18.6	18.4	17.9	18.2	17.9	17.3	17.5	
	水温(°C)	13.8	13.6	13.8	13.8	13.5	13.5	13.2	13.2	13.2	13.2	
	流量(m <sup>3</sup> /s)	0.442	0.478	0.490	0.503	0.649	0.698	0.646	0.667	0.841	1.091	
	比流量(m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	0.373	0.404	0.414	0.425	0.548	0.590	0.545	0.564	0.710	0.921	
	全窒素	0.53	—	0.54	—	0.54	—	—	—	—	0.54	
	全リン	0.008	—	0.004	—	0.005	—	—	—	—	0.014	
	アンモニア態窒素	0.01	—	0.01	—	0.01	—	—	—	—	0.01	
	硝酸態窒素	0.460	—	0.520	—	0.470	—	—	—	—	0.420	
	ケイ酸	6.0	—	5.9	—	5.5	—	—	—	—	4.9	
	懸濁性窒素	0.05	—	—	—	0.05	—	—	—	—	0.10	
	懸濁性リン	0.004	—	—	—	0.002	—	—	—	—	0.014	
	全有機態炭素	1.0	—	—	—	1.3	—	—	—	—	1.4	
	溶存性窒素	0.48	—	—	—	0.49	—	—	—	—	0.44	
溶存性リン	0.004	—	—	—	0.003	—	—	—	—	ND		
9	気温(°C)	20.0	20.6	19.8	19.8	19.5	20.3	20.0	20.0	19.0	18.8	
	水温(°C)	14.1	14.0	14.0	14.4	14.3	14.2	14.2	14.0	14.0	14.1	
	流量(m <sup>3</sup> /s)	0.076	0.063	0.084	0.125	0.120	0.121	0.124	0.123	0.147	0.171	
	比流量(m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	0.196	0.161	0.216	0.322	0.310	0.311	0.320	0.316	0.378	0.440	
	全窒素	0.13	—	0.12	0.15	—	—	—	—	—	0.13	
	全リン	0.004	—	0.004	0.008	—	—	—	—	—	0.005	
	アンモニア態窒素	0.02	—	0.02	0.01	—	—	—	—	—	0.02	
	硝酸態窒素	0.045	—	0.058	0.056	—	—	—	—	—	0.050	
	ケイ酸	6.8	—	6.7	6.0	—	—	—	—	—	5.8	
	懸濁性窒素	0.03	—	—	0.05	—	—	—	—	—	0.03	
	懸濁性リン	0.001	—	—	0.004	—	—	—	—	—	0.001	
	全有機態炭素	1.8	—	—	2.2	—	—	—	—	—	1.9	
	溶存性窒素	0.10	—	—	0.10	—	—	—	—	—	0.10	
溶存性リン	0.003	—	—	0.004	—	—	—	—	—	0.004		
13	気温(°C)		20.8	20.7	19.3	19.6	20.2	20.7	19.5	19.3	19.6	19.5
	水温(°C)		15.0	15.0	15.0	15.3	15.2	15.1	15.0	14.8	15.3	15.2
	流量(m <sup>3</sup> /s)		0.046	0.044	0.058	0.060	0.062	0.062	0.057	0.064	0.097	0.081
	比流量(m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )		0.189	0.184	0.240	0.247	0.259	0.256	0.238	0.267	0.401	0.335
	全窒素		—	0.16	0.17	0.21	—	—	—	—	0.28	—
	全リン		—	ND	0.009	0.008	—	—	—	—	0.018	—
	アンモニア態窒素		—	0.02	0.02	0.02	—	—	—	—	0.02	—
	硝酸態窒素		—	0.070	0.064	0.083	—	—	—	—	0.077	—
	ケイ酸		—	5.8	5.7	5.5	—	—	—	—	4.9	—
	懸濁性窒素		—	0.040	—	0.060	—	—	—	—	0.130	—
	懸濁性リン		—	0.000	—	0.002	—	—	—	—	0.012	—
	全有機態炭素		—	1.8	—	2.4	—	—	—	—	2.3	—
	溶存性窒素		—	0.12	—	0.15	—	—	—	—	0.15	—
溶存性リン		—	ND	—	0.006	—	—	—	—	0.006	—	

各物質の濃度単位は全て(mg/L)

No.9, 13は正時, No.7は正時+30分に採水した

懸濁態の窒素, リンは全窒素, 全リンから溶存性の窒素, リンを控除して求めた



附表4 出水時調査結果2回目(2006年11月11日)

調査地点	調査時間帯	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	雨量(mm/h)	8	4	0	0	1	1	7	3	4	4
7	気温(°C)		8.9	9.0	8.9	8.5	8.0	7.2	7.2	6.5	5.7
	水温(°C)		9.3	9.5	9.4	9.3	9.0	9.1	8.8	8.8	8.2
	流量(m <sup>3</sup> /s)		0.123	0.126	0.117	0.112	0.120	0.167	0.308	0.308	0.338
	比流量(m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )		0.104	0.106	0.099	0.095	0.101	0.141	0.260	0.260	0.286
	全窒素		—	0.42	—	0.53	0.55	0.59	0.63	—	0.82
	全リン		—	0.005	—	0	0	0.003	0.009	—	0.011
	アンモニア態窒素		—	0	—	0	0	0	0	—	0.01
	硝酸態窒素		—	0.40	—	0.48	0.50	0.51	0.51	—	0.66
	ケイ酸		—	7.7	—	8.2	8.0	7.8	6.9	—	6.8
	懸濁性窒素		—	—	—	0.50	—	0.57	0.60	—	—
	懸濁性リン		—	—	—	0.0	—	0.0	0.000	—	—
	全有機態炭素		—	—	—	2.1	—	2.6	3.4	—	—
	溶存性窒素		—	—	—	0.030	—	0.020	0.030	—	—
	溶存性リン		—	—	—	0.000	—	0.003	0.009	—	—
9	気温(°C)		10.2	10.5	11.0	10.1	9.7	9.6	7.3	8.0	8.0
	水温(°C)		10.1	10.3	10.3	10.3	10.2	10.0	10.0	9.8	10.0
	流量(m <sup>3</sup> /s)		0.049	0.038	0.028	0.025	0.027	0.054	0.081	0.069	0.073
	比流量(m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )		0.126	0.098	0.072	0.064	0.070	0.139	0.209	0.178	0.188
	全窒素		0.39	0.30	—	0.23	—	0.27	0.40	0.35	—
	全リン		0.026	0.009	—	0.004	—	0.014	0.027	0.010	—
	アンモニア態窒素		0	0	—	0.01	—	0.01	0.01	0.01	—
	硝酸態窒素		0.15	0.17	—	0.15	—	0.13	0.19	0.22	—
	ケイ酸		8.2	8.7	—	8.7	—	7.8	6.6	7.4	—
	懸濁性窒素		0.26	—	—	0.21	—	—	0.29	—	—
	懸濁性リン		0.000	—	—	0	—	—	0	—	—
	全有機態炭素		2.0	—	—	0.6	—	—	3.5	—	—
	溶存性窒素		0.130	—	—	0.020	—	—	0.110	—	—
	溶存性リン		0.026	—	—	0.004	—	—	0.027	—	—
13	気温(°C)		10.6	9.7	10.5	10.0	9.0	9.2	8.4	8.6	8.5
	水温(°C)		10.4	10.1	10.5	10.5	10.2	10.0	9.3	9.4	9.0
	流量(m <sup>3</sup> /s)		0.018	0.013	0.008	0.008	0.009	0.025	0.022	0.021	0.023
	比流量(m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )		0.075	0.054	0.033	0.033	0.037	0.104	0.091	0.087	0.095
	全窒素		0.57	0.59	0.47	—	0.27	0.57	—	0.51	—
	全リン		0.025	0.015	0.009	—	0.005	0.032	—	0.013	—
	アンモニア態窒素		0.01	0.02	0.02	—	0.02	0.02	—	0.02	—
	硝酸態窒素		0.26	0.29	0.26	—	0.13	0.21	—	0.26	—
	ケイ酸		7.6	7.7	7.9	—	8.3	7.5	—	6.6	—
	懸濁性窒素		0.38	—	0.40	—	—	0.35	—	—	—
	懸濁性リン		0	—	0	—	—	0	—	—	—
	全有機態炭素		3.2	—	2.6	—	—	3.1	—	—	—
	溶存性窒素		0.190	—	0.070	—	—	0.220	—	—	—
	溶存性リン		0.025	—	0.009	—	—	0.032	—	—	—

各物質の濃度単位は全て(mg/L)

No.9, 13は正時, No.7は正時+30分に採水した

懸濁態の窒素, リンは全窒素, 全リンから溶存性の窒素, リンを控除して求めた

資料写真

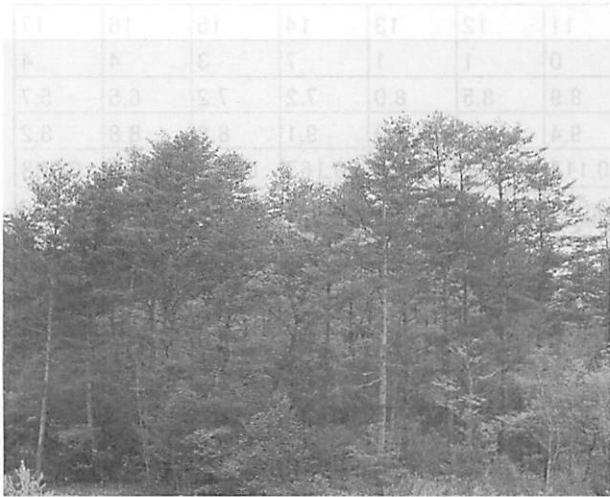


写真1 アカマツ林 (八幡)



写真2 落葉広葉樹林



写真3 ヒノキ人工林



写真4 アカマツ林 (江田島)



写真5 簡易式雨水採水の設置状況