

酸性雨モニタリング（陸水）調査結果について

山口県環境保健センター

川本長雄，大橋めぐみ，今富幸也，長田健太郎，佐野武彦，中川史代^{※1)}

Acid Rain Monitoring(Inland Water) Results of an Investigation

Nagao KAWAMOTO, Megumi OHASHI, Yukiya IMATOMI, Kentaro OSADA, Takehiko SANO
Fumiyo NAKAGAWA^{※1)}

Yamaguchi Prefectural Institute of Public Health and Environment

はじめに

この調査は、国（環境省）の委託を受け、国内における酸性雨による中長期の影響の把握のために、県内では山のロダムを対象とし、湖沼の水質の採水・分析を行い、湖沼の水質のデータや集水域や気象に関する事項について調査した。

調査湖沼の緒元

1 位置

調査湖沼の山のロダム（所在地：山口県萩市大字紫福）の位置、集水域及び採水地点を図1, 2, 3に示す。



図1 山のロダムの位置

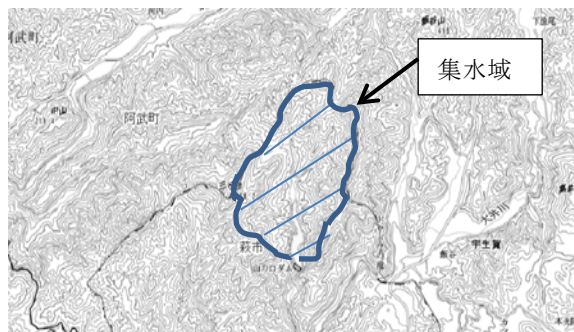


図2 集水域



図3 採水地点

2 山のロダムの緒元

湖沼の緒元及び集水域の状況を表1, 2に示す。

表1 山のロダムの緒元

名称	山のロダム
所在地	萩市大字紫福
緯度	北緯 34 度 29 分 55 秒 東経 131 度 32 分 20 秒
標高	280m
湖沼の成因	人工の灌漑用ダム
面積	70,000m ²
汀線の長さ	1,500m
栄養状態	中栄養
水深（計画値）	平均 9.6m, 最深 20.7m
水量	平均 690,000m ³
年間の水深変動幅	0.5m
湖沼の利用状況	灌漑

※1) 現山口県宇部健康福祉センター

表2 集水域の状況

集水域の面積	2.1km ²
表層地質	流紋岩質岩石
土壌の種類	褐色森林土壌
植生(主要植物)	コバノミツツジ, アカマツ群落
主要土地利用状況	山林(100%)
人口	0人
流入河川数	1(山の口川)

調査方法

1 調査期間

2003年度～2013年度(11年間)

2 調査項目と分析方法

調査項目及び分析方法を表3, 4に示す。水温, 外観, 透明度を除いて, 分析は1試料につき3回分析し平均値を測定値とした。なお, 2013年度のデータは速報値である。

表3 調査項目

項目	①水温, ②pH, ③EC, ④アルカリ度, ⑤ NH ₄ ⁺	
	⑥ Ca ²⁺ , ⑦Na ⁺ , ⑧Mg ²⁺ , ⑨K ⁺ , ⑩NO ₃ ⁻	
項目	⑪ NO ₂ ⁻ , ⑫SO ₄ ²⁻ , ⑬Cl ⁻ , ⑭PO ₄ ³⁻	
	⑮溶存態全アルミニウム, ⑯溶存性有機体炭素(DOC), ⑰クロロフィル a(chl-a) ⑱DO	
項目	⑲外観, ⑳透明度	
	①～⑮, ⑰～⑳ (四季毎4回/年)	
頻度	春:5月 夏:8月 秋:10月～11月 冬:1月にサンプリング	
	⑯ (春季1回/年)	
地点数・深度等	地点数:1か所	
	採水地点	表層(-0.5m) 試料数 2 底層(湖底から+1.0m) 試料数 2

表4 分析項目及び分析方法

分析項目	分析方法	使用機器 型式
水温	-	佐藤計量器 PC9400
水素イオン濃度(pH)	ガラス電極法	HORIBA F-51 東亜 HM-21P(現地調査)
電気伝導率(EC)	電気伝導率計	HORIBA ES-12 東亜 CM-21P(現地調査)
アルカリ度(pH4.8)	pHメーター ビュレット滴定法	東亜 HM-20J
NH ₄ ⁺ , Ca ²⁺ , Na ⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺	イオンクロマトグラフ法	DIONEX DX320
NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ , PO ₄ ³⁻	イオンクロマトグラフ法	DIONEX ICS1600
溶存態全アルミニウム	ICP/MS法	Agilent7500
溶存性有機体炭素(DOC)	赤外線式 TOC自動計測法	SHIMAZU TOC-V
クロロフィル量(chl-a)	吸光光度法	SHIMADZU UV2000
溶存酸素(DO)	隔膜電極法(投込み型)	HORIBA OM-51

結果

1 流域への流入負荷量

調査期間の降水量は平均1659mm/年であり, 山の口ダムの流域内に流入するSO₄²⁻, NO₃⁻の年間負荷量について試算した結果は次のとおり。

$$SO_4^{2-} = 1659 \text{ mm} \times 10^{-3} \times 2.1 \text{ km}^2 \times 10^6 \times 1.95 \text{ mg/L}^{※2}) \times 10^{-3} = 6793 \text{ kg/年} \approx 6.8 \text{ トン/年}$$

$$NO_3^- = 1659 \text{ mm} \times 10^{-3} \times 2.1 \text{ km}^2 \times 10^6 \times 1.20 \text{ mg/L}^{※3}) \times 10^{-3} = 4180 \text{ kg/年} \approx 4.2 \text{ トン/年}$$

(※2, 3) SO₄²⁻, NO₃⁻の濃度は酸性雨調査(環境保健センター地点)の2003～2013年度の平均値)

2 水温

水温は, 表層が5.8～29.9℃(平均17.8℃), 底層が5.8～15.0℃(平均9.4℃)の範囲で変動しており, 表層の水温が底層よりも高い。冬季には表層と底層が同じ水温となり, 表層水, 底層水が混じり合っ

てほとんどの分析項目が同じ水質となる。春から秋にかけて水温躍層が形成されるに従って表層と底層の水質が異なったものへと変化する。(図1~8)

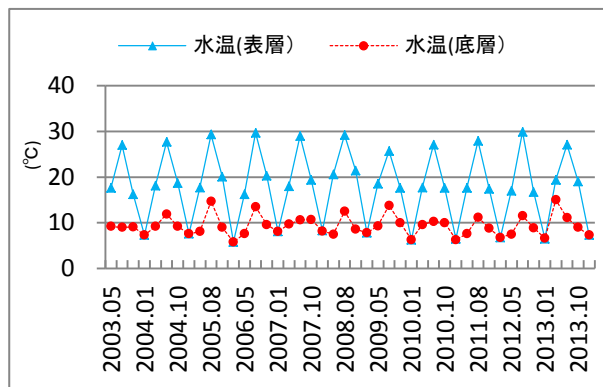


図1 水温

3 pH, 電気伝導度 (EC), アルカリ度, D0

(1) pH, 電気伝導度 (EC) 等

pHは、表層が6.13~7.11(平均 6.64), 底層が5.73~6.77(平均 6.31)であり、表層は冬季が低く夏は高くなり、底層は冬季が高く秋が低い。ECは、表層が5.12~6.72 mS/m(平均 5.12 mS/m), 底層が5.54~7.60 mS/m(平均 6.61 mS/m)であり、冬季に同濃度となり表層は夏にかけて減少して行くが、底層は秋にかけて高くなる。アルカリ度は、表層が0.06~0.13 meq/L(平均 0.101 meq/L), 底層は0.08~0.25 meq/L(平均 0.122 meq/L)であり、表層は冬季、秋季が高く春季が低い。底層は秋季が高く春季が低い。D0は、表層が5.1~11.3 mg/L(平均 8.2 mg/L), 底層が2.0~11.0 mg/L(平均 6.2 mg/L)であり、冬季に表層と底層が同じ濃度となり春~秋には底層のD0が減少していく。(図2~5)

(2) pH, ECの表層と底層の比較

表層は、pHがいずれの季節も高く、ECが低い。アルカリ度は表層、底層で大差ない。(図2~4)

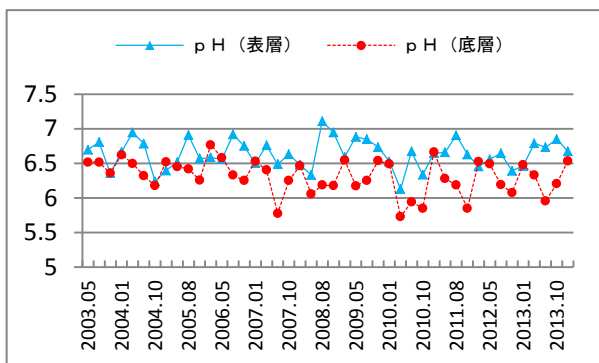


図2 pH

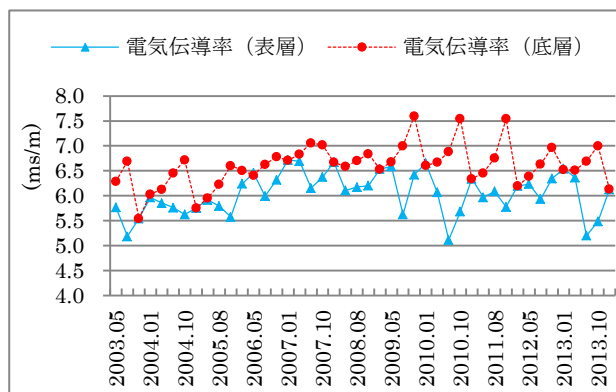


図3 電気伝導度 (EC)

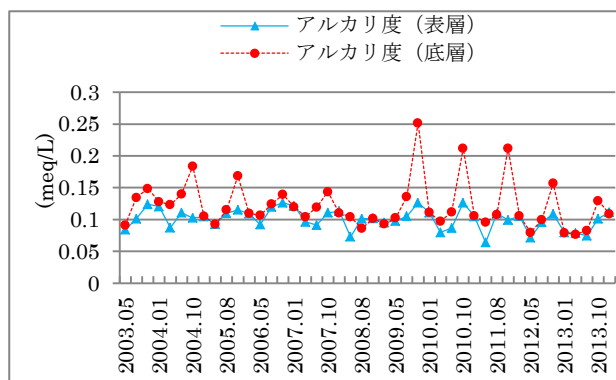


図4 アルカリ度

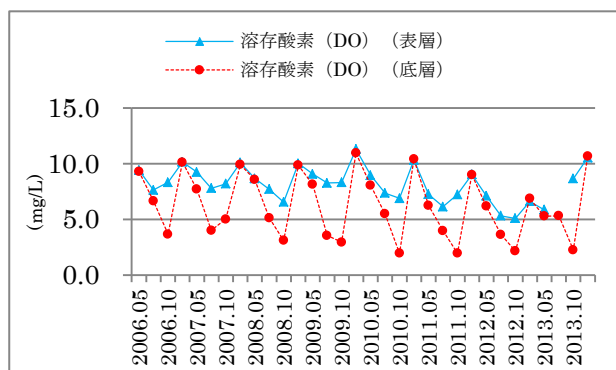


図5 溶存酸素 (D0)

4 イオン成分

(1) SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-}

SO_4^{2-} は、表層が4.32~5.45 mg/L(平均 4.86 mg/L), 底層が3.69~5.35 mg/L(平均 4.67 mg/L)であり、表層が高い。 NO_3^- は、表層が0.10~1.06 mg/L(平均 0.59 mg/L), 底層が0.05~1.15 mg/L(平均 0.81 mg/L)であり、底層が高い。 NO_2^- , PO_4^{3-} は、表層、底層ともに不検出である。(図6)

(2) Na^+ , Cl^-

Na^+ は、表層が6.54~8.42 mg/L(平均 7.70 mg/L),

底層が6.92~8.69 mg/L(平均 7.94 mg/L)であり、大きな差はない。Cl⁻は、表層が8.06~12.71 mg/L(平均 11.04 mg/L)であり、底層が高い。(図7)

(3) NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺

NH₄⁺は、表層、底層ともにほとんどが0.05 mg/L以下、Ca²⁺は、表層が0.96~1.70 mg/L(平均 1.31 mg/L),

底層が1.05~2.36 mg/L(平均 1.68 mg/L)であり、底層が高い。Mg²⁺は、表層が0.68~1.04 mg/L(平均 0.68 mg/L), 底層が0.73~1.01 mg/L(平均 0.73 mg/L)であり、ほとんど差はない。K⁺は、表層が0.86~1.12 mg/L(平均 0.99 mg/L), 底層が0.86~1.10 mg/L(平均 0.98 mg/L)であり差はない。(図8)

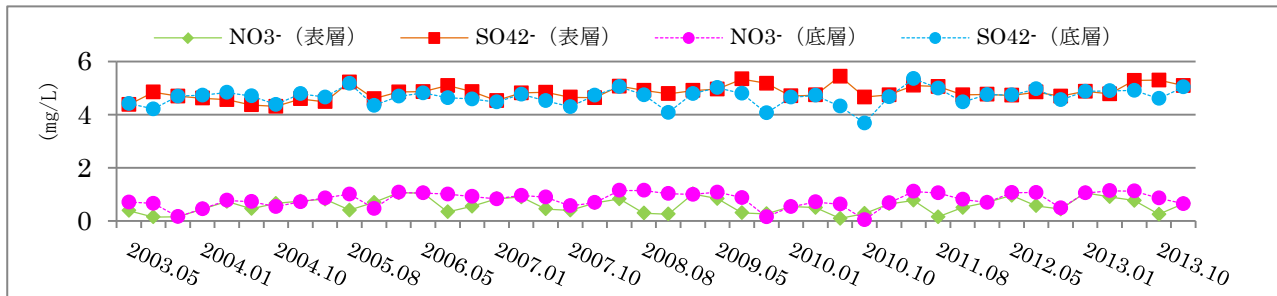


図6 SO₄²⁻, NO₃⁻

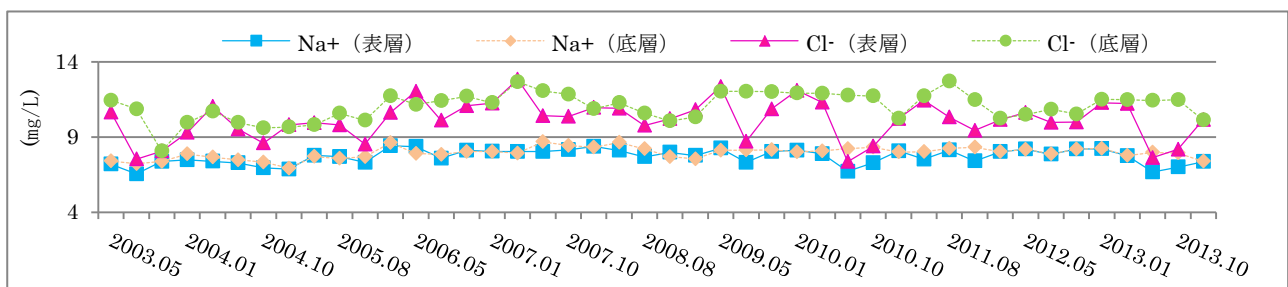


図7 Na⁺, Cl⁻

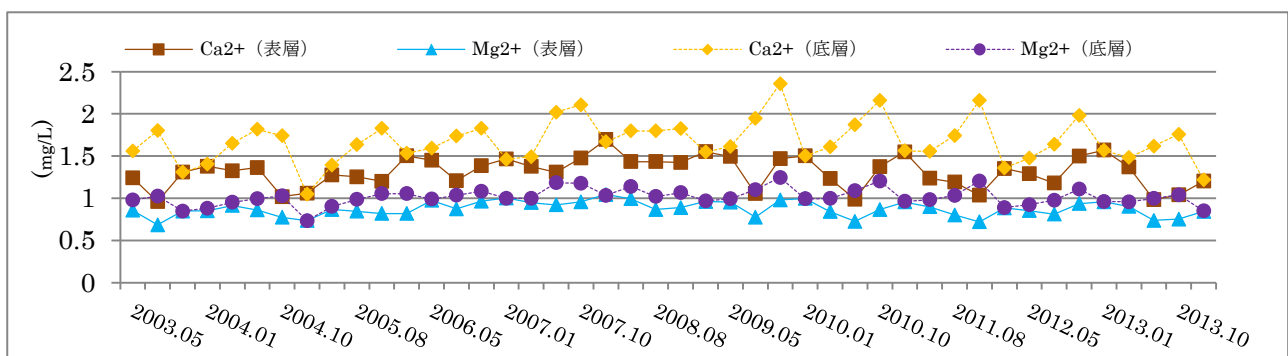


図8 Ca²⁺, Mg²⁺

(4) 溶存態全アルミニウム (全Al³⁺)

表層が0.01以下~0.03 mg/L(平均 0.01 mg/L以下), 底層が, 0.01以下~0.02 mg/L(平均 0.01 mg/L以下)であり、低濃度である。(図9)

(5) 表層と底層の季節別イオン成分平均濃度の差

SO₄²⁻は、夏季、秋季が底層より表層の濃度が高い。それ以外のイオン成分は、いずれも底層が少し高い。冬季はほぼ同じ濃度である。(図10)

5 クロロフィル - a(chl-a), DOC

chl-aは、表層が0.3~6.0 μg/L(平均 1.87 μg/L), 底層が0.0~4.3 μg/L(平均 0.9 μg/L)であり、表層が高い。表層は秋季が高く、春季が低い。底層は冬季が高く、春季が低い。DOCは、秋季のみ調査を行っている。表層では、0.7~1.3 mg/L(平均 1.0 mg/L)であり、底層では、0.5~1.2 mg/L(平均 0.8 mg/L)であり、低濃度である。(図11)

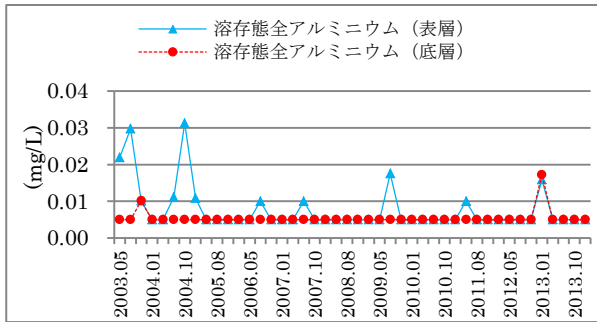


図9 溶存態全アルミニウム

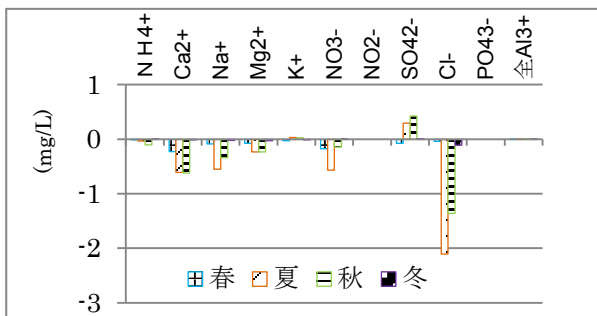


図10 イオンの季節別平均濃度の差(表層—底層)

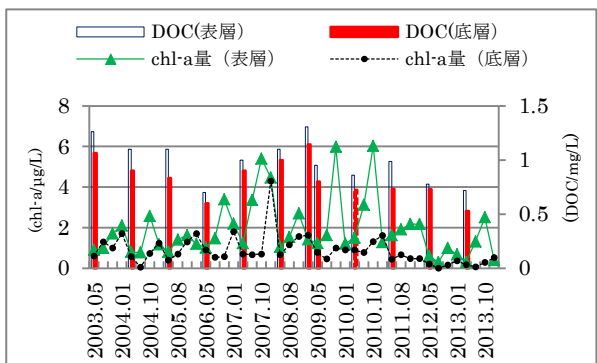


図11 DOC, chl-a

6 回帰分析

各分析項目について回帰分析を行った結果、5%有意水準で増減の相関が認められるものを表5に示す。表層では SO_4^{2-} が0.01 mg/L/年の増加傾向が認められるものの極めて僅かなものである。底層では、pHが微減、EC、 Na^+ 、 Cl^- が増加傾向にあるが極めて僅かである。

表5 回帰式

区分	項目	データ数	回帰式				増減
			変数	係数	標準誤差	t値	
表層	SO_4^{2-}	44	切片	4.622	0.071	65.25	0.000
			X値1	0.010	0.003	3.47	0.001
底層	pH	44	切片	6.449	0.071	90.69	0.000
			X値1	-0.006	0.003	-2.23	0.031
	EC	44	切片	6.340	0.118	53.79	0.000
			X値1	0.012	0.005	2.64	0.012
	Cl^-	44	切片	10.51	0.269	39.13	0.000
			X値1	0.024	0.010	2.27	0.029
	Na^+	44	切片	7.676	0.108	71.38	0.000
X値1			0.012	0.004	2.86	0.007	

評価

山のロダムの流域には、酸性雨の主要な成分である SO_4^{2-} が6.8トン/年、 NO_3^- が4.2トン/年の負荷量の流入が推定される。

このような負荷量を受ける状況化で、湖沼の水質は次のようなものであった。

表層では、pHは平均6.64、ECは平均5.12 mS/mであり大きな変化は生じていない。この湖沼はアルカリ度が低く酸性雨への感受性が強いと考えられるが、以前とほぼ同じの平均0.1 meq/Lが保たれている。イオン成分では、 SO_4^{2-} は平均4.86 mg/Lと日本の河川水の平均的濃度10.6 mg/Lと比べて低い。底層に比較して0.3~0.4 mg/L夏季と秋季が高くなっているが、これは底層での還元作用により低下したためと考えられる。¹⁾ NO_3^- が底層に比べて春季、夏季に減少しているのは表層での浮遊性藻類の増殖による消費と考えられる。²⁾ 回帰分析の結果では SO_4^{2-} が0.01 mg/年の増加傾向を示しているが、僅かであり酸性雨による影響は軽微であると考えられる。

底層では、pHは平均6.31と表層に比べて低く、ECは平均6.61mS/mと少し高いが、湖沼の一般的特性である。³⁾ イオン成分では Ca^{2+} が平均1.31 mg/Lであり表層よりも高いが、表層よりpHが低く、 CO_2 が豊富なため溶存態 Ca^{2+} が増えるためと考えられる。⁴⁾

酸性化すると溶出する全 Al^{3+} は、表層、底層とも平均0.01 mg/L以下と低濃度である。⁵⁾ DOCは表層で平均1.0 mg/L、底層で平均0.8 mg/Lと低く、chl-aは表層で平均1.9 µg/L、底層で平均0.9 µg/Lであり、貧栄養~中栄養の状態が保たれており調査開始時と変化は認められない。⁶⁾

以上のことから、山のロダムの水質に顕著な変化は認められず、酸性雨による影響は小さいと考えられる。

(参考文献)

- 1, 3, 4) 道奥康治ほか：底部に逆転水温層を有する部分循環貯水池の水質構成に関する研究, 土木学会論文集No.752/II - 40, 33 - 48 (1997)
- 2) 堀田大貴ほか：貧~中栄養小規模ダムにおける栄養塩の動態, 地球化学 41, 77 - 85 (2007)
- 5) 越川(金尾)昌美・高松 武次郎(独立行政法人国立環境研究所): 土壌—河川—生態系におけるアルミニウムの動態と化学
- 6) ホイッター生態学概説—生態群落と生態系—