



ISSN : 1344-865X

高知県環境研究センター報

第 33 号

平成28年度

高知県環境研究センター

はじめに

高知県では、多様な主体が協働して本県の恵み豊かな環境を保全するとともに、地域の自然資源を活かした産業振興を目指すことを基本コンセプトに、「高知県環境基本計画第四次計画」に基づき、さまざまな施策を推進しています。

その中で、高知県環境研究センターは、県の環境行政における技術面での中核機関としての役割を担い、県内の大気や水質の常時監視、工場・事業場への立入検査などの法定業務をはじめ、地域に根ざした調査研究、環境情報の収集・発信など、様々な事業に取り組んでいるところです。

当所で行っている調査研究の中から、今回は、バイオマス燃焼灰の有効利用に向けた「燃焼灰のペレット化」および「燃焼灰の林地への散布が浸出水に与える影響」、広域的な大気汚染対策を進めるうえでの貴重なデータとなる「高知県における酸性雨の特徴」、地域主体の参加型水質調査を進めることを目的とした「物部川における新しい水質調査の試み」、地方公共団体環境研究機関と国立環境研究所との共同研究の一環として行った「高知県沿岸の閉鎖性水域である浦ノ内湾における水質調査」、以上に関する5題の報文を掲載しました。

こうして平成28年度所報がまとまり、業務概要および調査研究報告に目を通しますと、当センターが地域の中で果たすべき役割と、その役割を果たすためにも地方環境研究所としての機能を充実していく必要があることを改めて認識し、身が引きしまる思いでおります。

基本業務の確実な遂行や環境課題への対応としての調査研究はもちろんのこと、蓄積したデータに基づく客観的な施策の評価、環境汚染事故や災害時における環境危機管理対応などに、関係機関と連携し、創造性とチームワークを発揮して取り組んでいきたいと考えています。

本所報をご高覧いただき、多くのご意見やご教示をいただきますようお願いいたします。

平成29年12月

高知県環境研究センター

所 長 西 森 郷 子

目 次

I 環境研究センターの概要

1. 沿 革	1
2. 施設の概況	1
3. 組織及び主な業務	2
4. 職員一覧	3
5. 人事異動	3
6. 平成29年度予算（歳出見込）	3
7. 主要備品	4

II 業務概要

1. 平成28年度決算（歳出）	5
2. 学会・会議及び研修への参加（平成28年度）	5
3. 各担当の業務概要	7
企画担当	7
大気担当	9
水質担当	11

III 調査研究報告

1. バイオマス燃焼灰のペレット化に関する研究	13
2. 木質バイオマス燃焼灰散布が模擬土壌斜面の浸出水に与える影響	27
3. 高知県における酸性雨調査（第16報） 本県の大気中の粒子状物質，ガス状物質濃度の特徴について（2006年度から2015年度）	45
4. 物部川における新しい水質調査の試み	65
5. 浦ノ内湾における底層DOの測定結果とCODに関連する有機物指標について	89

IV 所報投稿規定	101
-----------------	-----

I 環境研究センターの概要

1. 沿革

- 昭和46年4月1日 衛生研究所に公害部設置
 昭和48年4月1日 機構改革により，公害防止センター発足
 昭和61年3月20日 高知県公害防止センター・高知県赤十字血液センター・(財)高知県総合保健協会との
 合同施設「高知県保健環境センター」完成
 昭和61年4月14日 新庁舎に移転，業務開始
 平成9年4月1日 機構改革により，企画情報科・総合環境科・大気科・水質科の4科制となり名称を
 「高知県環境研究センター」に変更
 平成19年4月1日 機構改革により，4科制を企画担当・大気担当・水質担当の3担当チーフ制に変更

2. 施設の概況

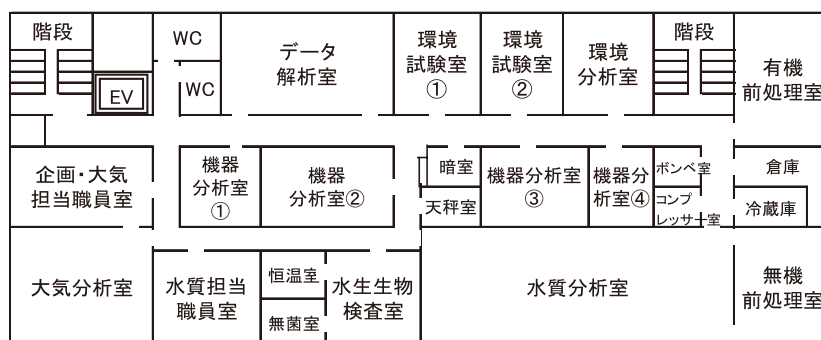
- (1) 所在地 〒780-8010 高知市栈橋通6丁目7-43
 電話 088(833)6688 (総務事務室)
 088(833)6689 (企画・大気担当職員室)
 088(833)6690 (水質担当職員室)
 FAX 088(833)8311
 E-mail 030802@ken.pref.kochi.lg.jp
 敷地面積：2,187㎡ 建築面積：1,163㎡
 規模構造：鉄筋コンクリート造5階建 4，5階分 延床面積：1,239㎡
 別棟(車庫，倉庫)：124㎡

(2) 配置図

<4階>

企画・大気担当職員室	34.8㎡	恒温室	10.0㎡	機器分析室④	15.9㎡
大気分析室	56.2	無菌室	10.0	暗室	5.6
データ解析室	51.5	水生生物検査室	30.0	天秤室	10.7
環境試験室①	31.0	有機前処理室	50.8	倉庫	28.8
環境試験室②	20.4	無機前処理室	52.4	冷蔵庫	6.0
環境分析室	34.7	機器分析室①	20.1	ボンベ室	3.4
水質担当職員室	31.8	機器分析室②	39.2	コンプレッサー室	3.8
水質分析室	133.5	機器分析室③	35.4		

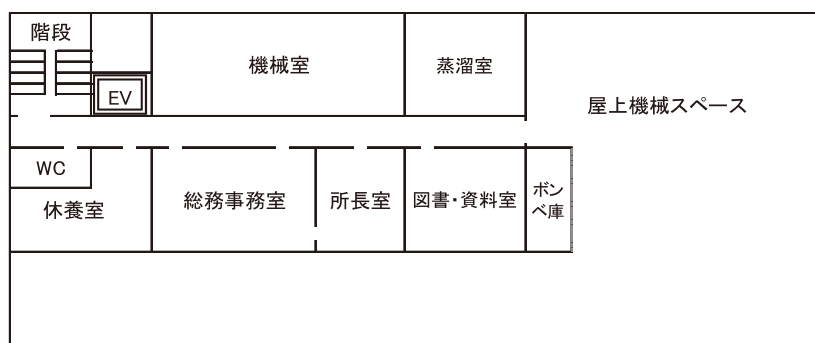
4F 配置図



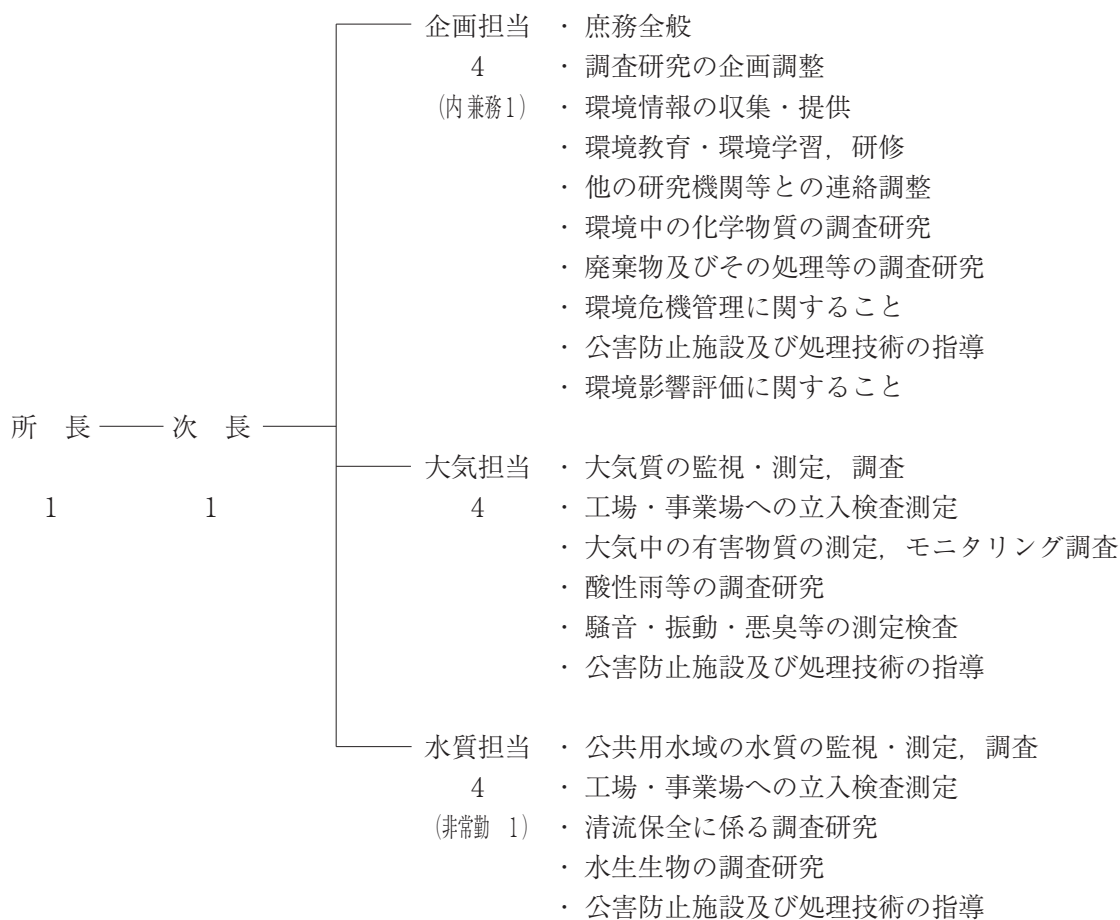
< 5 階 >

所 長 室	18.4㎡	蒸 溜 室	36.3㎡
総 務 事 務 室	30.5	機 械 室	60.7
図 書 ・ 資 料 室	34.6	ボ ン ベ 庫	5.6
休 養 室	30.6		

5F 配 置 図



3. 組織及び主な業務



4. 職員一覧

平成29年4月1日現在

職 名	氏 名
所 長	西 森 郷 子
次 長 兼 チーフ（企画担当）	高 岡 真 司
主 幹	田 所 通 子
主任研究員	富 田 比 菜
専 門 員	山 村 貞 雄
チーフ（大気担当）	西 孝 仁
主任研究員	武 市 佳 子
主任研究員	池 田 里 美
研 究 員	尾 崎 吉 純
チーフ（水質担当）	大 森 真貴子
主任研究員	刈 谷 玲 菜
研 究 員	細 井 健太郎
研 究 員	丁 野 可 愛
非常勤職員	立 川 真 弓

5. 人事異動

（平成29年4月1日付）

（転出者・退職者）		
職 名	氏 名	転 出 先
所 長	竹 内 ゆかり	退 職
次 長 兼 チーフ（企画担当）	松 尾 ち づ	退 職
チーフ （大気担当）	高 宮 真 美	退 職
主任研究員	片 岡 エ リ	中央西福祉保健所 主 幹
研 究 員	廣 末 友里恵	安芸福祉保健所 主 査
（転入者・新採者）		
職 名	氏 名	前 所 属
所 長	西 森 郷 子	再 任 用
次 長 兼 チーフ（企画担当）	高 岡 真 司	須崎福祉保健所 衛生環境課チーフ（環境担当）
チーフ （大気担当）	西 孝 仁	中央東福祉保健所 衛生環境課チーフ（環境担当）
主任研究員	池 田 里 美	中央西福祉保健所 主 査
研 究 員	丁 野 可 愛	新 採

6. 平成29年度予算（歳出見込）

（千円）

	環境対策費	環境共生費	林業政策費	建 築 費	計
報 酬	1,847				1,847
共 済 費	310		1		311
賃 金					
報 償 費	123				123
旅 費	1,939	170			2,109
需 用 費	28,606	939		698	30,243
役 務 費	1,785				1,785
委 託 料	37,814				37,814
使 用 料	1,561				1,561
工 事 請 負 費					
備 品 購 入 費					
負 担 金 補 助	133				133
公 課 費	14				14
計	74,132	1,109	1	698	75,940

* 人件費は除く

7. 主要備品

平成29年4月1日現在

品 名	規 格 ・ 型 式 等	数量
軽自動車	スバル (1BOX、2WD) スズキ (1BOX、4WD)	2
小型自動車 (四輪貨物自動車)	ニッサン AD (4WD)	1
特種用途車 (大気環境測定車)	日野 TKG-XZC655M	1
イオンクロマトグラフ	DIONEX ICS-90 SRSシステム オート2ch	1
イオンクロマトグラフ分析装置	サーモフィッシャーサイエンティフィック Dionex Integrion HPIC System	1
高速液体クロマトグラフ質量分析装置	日本ウォーターズ ACQUITY UPLC、TQD システム 蛍光検出器 474スキャニング47400	1
高速液体クロマトグラフ	日本ウォーターズ 616LC	1
高速液体クロマトグラフポストカラム反応システム	日本ウォーターズ (送液・反応・分離・データ処理部)	1
ガスクロマトグラフ	島津製作所 GC-14A (ECD) GC-14B (FTD, FID)	2
ガスクロマトグラフ質量分析装置	日本電子JMS-K9 Agilent7890A/日本電子JMS-Q1000GCMK II	2
原子吸光分析装置	パーキンエルマー AANalyst 800	1
還元気化水銀分析装置	日本インスツルメンツ マーキュリー RA-3120A	1
水銀分析装置 (大気Hg用)	日本インスツルメンツ マーキュリー WA-3	1
落射蛍光顕微鏡	日本光学 XF-EFD2	1
紫外可視分光光度計	日立 U-3010、島津製作所 UV-160A	2
フーリエ変換赤外分光光度計	日本分光 FT/IR-480Plus	1
濁度・色度測定器	日本電色工業 WA6000	1
全有機炭素測定装置	島津製作所 TOC-VCPH	1
低温灰化装置	ヤナコ分析工業 LTA-104	1
高速冷却遠心機	久保田製作所 MODEL-6700	1
自動固相抽出装置 一式	アイスティサイエンス オンラインSPE-GC、GC大量 注入装置LVI-S200 Thermo オートトレースAT-280	1
抽出用定流量ポンプ	日本ウォーターズ Sep-Pakコンセンレーター Plus	1
航空機騒音自動測定装置 (可搬型)	日東紡音響エンジニアリング DL-100/LE	4
1/3実時間周波数分析器	リオン SA-25	1
騒音振動レベル処理装置	リオン SV-72A	1
オキシダント計校正機器	日本サーモ Model49i-PS	1
等速吸引装置	岡野製作所 ESA-703C	1
煙道用窒素酸化物・酸素自動計測器	アナテック・ヤナコ ECL-88A0 Lite	1
超低温フリーザー	パナソニック ヘルスケア製 MDF-U582AT-PJ 497L	1
自動化学分析装置	ビーエルテック オートアナライザー swAAAt	1
X線回折装置	リガク MultiFlex	1
エネルギー分散型蛍光X線分析装置	日本電子 JSX-3220	1
生物顕微鏡	オリンパス BHSU323、BHSU322	2
ビデオマイクロスコープ装置	モリテックス MS-803	1
位相差分散顕微鏡	ニコン ECLIPSE 80i	1
ICP質量分析装置	Agilent 7500ce	1
全自動器具洗浄装置	SANYO MJW-9020	1
超純水製造装置	日本ミリポア Milli-Q Advantage	1
マイクロウェーブ分解装置	アントンパール・ジャパン MultiwavePro	1
多項目水質計	HYDROLAB DS5	1

Ⅱ 業 務 概 要

1. 平成28年度決算（歳出）

（千円）

	環境対策費	環境共生費	林業政策費	建築費	計
報酬	1,841				1,841
共済費	291		8		299
賃金			145		145
報償費	63				63
旅費	1,686	170			1,856
需用費	28,114	948		677	29,739
役務費	1,459				1,459
委託料	32,367				32,367
使用料	2,338				2,338
工事請負費					
備品購入費	1,732				1,732
負担金補助	145				145
公課費	31				31
計	70,067	1,118	153	677	72,015

* 人件費は除く

2. 学会・会議及び研修への参加（平成28年度）

期 間	用 務	開催地	出席者
学会等			
28. 9. 7 ～ 9	第57回大気環境学会年会	北海道	武市, 廣末
28. 9. 28 ～ 29	第27回廃棄物資源循環学会研究発表会	和歌山県	富田
28. 11. 17 ～ 18	第43回環境保全・公害防止研究発表会	山形県	細井
29. 3. 15 ～ 17	第51回日本水環境学会年会	熊本県	刈谷
会議等			
28. 5. 19 ～ 20	平成28年度全国環境研協議会中国四国支部会議	島根県	竹内, 高宮, 大森
28. 6. 9	平成28年度環境放射線等モニタリング調査説明会	千葉県	武市
28. 6. 17	「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」平成28年度第1回全体会議	大阪府	大森, 刈谷
28. 7. 26	平成28年度環境測定分析統一精度管理中国・四国ブロック会議	愛媛県	尾崎

期 間	用 務	開催地	出 席 者
28. 9. 6	第21回全国越境大気汚染・酸性雨対策連絡会議	北海道	廣末
28. 9. 7	「PM2.5の環境基準超過をもたらす地域的/広域的汚染機構の解明」グループ会合	北海道	武市
29. 2. 3	平成28年度国設酸性雨・大気環境測定所担当者会議	東京都	廣末
29. 2. 7～8	第45回全国環境研協議会総会及び平成28年度地方公共団体環境試験研究機関等所長会議	東京都	竹内
29. 2.28	平成28年度第2回環境測定分析統一精度管理中国・四国ブロック会議	香川県	富田, 刈谷
研修			
28. 4.19	アイスティサイエンス水質分析セミナー	大阪府	細井
28. 5.19～ 6. 3	平成28年度機器分析研修	埼玉県	細井, 廣末
28. 5.31	Dionex IC技術説明会2016	広島県	尾崎
28. 6. 8	島津ガスクロマトグラフGCスクール(キャピラリ編)	香川県	片岡, 刈谷
28. 6. 9～10	平成28年度第1回音環境セミナー	大阪府	尾崎
28. 6.13～16	平成28年度臭気分析研修	埼玉県	尾崎
28. 8.29	食品・水質分析技術セミナー 2016	香川県	富田
28.10.17～28	平成28年度廃棄物分析研修	埼玉県	片岡
28.10.27～28	環境大気常時監視技術講習会	兵庫県	武市
28.10.31	第6回騒音・振動, 悪臭行政担当者研修会	東京都	廣末
28.12.13	平成28年度低周波音測定評価方法講習会(初級編)	大阪府	尾崎
28.12.14	平成28年度低周波音測定評価方法講習会(中級編)	大阪府	武市
29. 1.16～27	平成28年度VOCs分析研修	埼玉県	刈谷
29. 1.23～24	平成28年度化学物質環境実態調査環境科学セミナー	東京都	富田
29. 1.30	第62回日本水環境学会セミナー	東京都	片岡
29. 2. 7～8	オフロード法立入検査における排出ガス測定等の講習会	岡山県	廣末
29. 2. 9～24	平成28年度大気分析研修	埼玉県	尾崎
29. 2.16	平成28年度大気環境対策セミナー	東京都	武市

3. 各担当の業務概要

1 企 画 担 当

企画担当は、①予算の編成執行管理や物品購入管理事務等の庶務一般業務、②環境に関する情報の収集提供等の環境情報普及啓発業務、③民間企業や他の研究機関と連携した環境ビジネスの推進、④環境中化学物質の調査研究及び環境汚染事故等に対する危機管理に関することを主な業務としている。

1-1 環境情報普及啓発業務

地域の環境保全活動を支援するため、当センターが実施している県内の大気、水質などの環境に関する調査結果や各種技術資料などをもとに、県民に分りやすい形で環境情報の提供等を行った。

(1) ホームページによる環境情報の発信

ホームページを充実し、業務や研究の概要、環境学習支援・こどもコーナー、高知県の大気、水質及び酸性雨などの状況について、わかりやすく加工して県民に情報提供を行った。

ホームページアドレス

<http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030802/>

(2) 環境学習支援・研修

学校、市町村教育委員会等環境関連団体に対し、水生生物調査セットや環境パネルなどの環境学習用資材の貸出及び学習ガイドブック等の提供を行った。その概要は表1のとおり。

表1 環境学習資材の貸出し状況（件数）

年度	水生生物調査セット	簡易水質調査キット	環境パネル	書籍 資器材	学習資材 提供
H28	21	1	13	21	2
H27	17	0	12	18	5

1-2 災害時における生活環境保全事業

県内各地域の環境づくりの担い手である市町村職員等に対し、環境問題等の解決能力や地域の活性化につながる活動の質の向上のため、

研修会を行った。平成26年度からは災害時に発生する事案を意識して計画しており、平成28年度は騒音をテーマに実施した。その概要は表2のとおり。

表2 研修会の概要等

研 修 内 容			
実施月日		開催場所	参加人員
1	騒音基礎研修（実習含む）		
	平成28年8月30日	高知工科大学 永国寺キャンパス	42名
2	講演会：平時及び災害後の騒音苦情対応を学ぶ		
	平成29年1月27日	高知城ホール	60名

1-3 業務機能・研究成果の県民共有化

環境情報の発信に伴い、学校その他の団体から当センターの業務や研究についての問い合わせや、施設訪問の要望等が寄せられ、平成28年度はインターンシップ及び施設見学の受け入れ、調査研究等発表会を実施した。

(1) インターンシップの受け入れ

大学生2名を受け入れた。その概要は表3のとおり。

表3 インターンシップの概要

	平成28年度	平成27年度
学生数	2名	2名
日 数	3日（2名） 大学生	8日（1名） 大学生 8日（1名） 専門学校生
概 要	・研修会スタッフ ・水質調査 ・大気環境常時監視（測定局見学） ・灰浸出試験前処理	・水質分析 ・大気分析 ・器具洗浄 ・灰溶出試験

(2) 施設見学

平成28年度は中学校1校から施設見学の依頼があり、受け入れた。

その概要は表4のとおり。

表4 施設見学の概要

学校名	土佐塾中学校
年月日	平成28年7月15日
人数	16名（引率教員含）
概要	・業務の紹介 ・実習を交えた施設の紹介

(3) 調査研究等発表会

当センターが実施した調査研究の中から最近取りまとめたテーマについて調査研究等発表会を実施した。その概要は表5のとおり。

表5 調査研究等発表会の概要

開催年月日	平成29年3月3日（金）
開催場所	高知県総合保健協会3階研修室
出席者	行政・大学・民間研究機関等 41名
発表テーマ	・高知県内で発生した魚類へい死事故について（平成18年度～平成27年度） ・高知県における大気中の揮発性有機化合物（VOC）モニタリング調査（平成22年度～27年度） ・仁淀川における清流基準調査について ・平成28年度高知県水質測定分析精度管理調査結果について

1-4 化学物質環境汚染実態調査

（環境省委託）

環境省の委託を受け、四万十川河口部を対象に、化学物質（POP_s等14物質群37物質）の環境残留性及び生物蓄積量について継続調査を行った。その概要は表6のとおり。

表6 化学物質環境汚染実態調査の概要

	平成28年度	平成27年度
モニタリング調査	水質1地点 底質3地点 生物（スズキ）3検体	水質1地点 底質3地点 生物（スズキ）3検体
初期環境調査	—	水質1地点

注）当センターは試料採取と前処理及び一部の項目のみ実施

1-5 バイオマス燃焼灰の利用拡大に関する調査研究

木質ペレットの利用拡大に伴い燃焼灰の増加が見込まれている。この燃焼灰は事業活動等に伴う廃棄物とされるが、ミネラル成分を多く含み資源等としての活用も有望である。平成28年度は、引き続き高知大学や試験研究機関と連携を取りながら、県内の事業所で発生する燃焼灰の性状検査、金属溶出試験を行った。また、林地に散布した状態を想定し、模擬斜面や森林技術センター敷地内斜面に燃焼灰を散布し、その影響を検証した。また、畜産試験場に依頼し、牧草への肥料としての活用の可否について検討を行った。

1-6 行政依頼検査と危機管理

(1) 行政依頼

化学物質による環境汚染事故や公害苦情等に関し、福祉保健所及び市町村等の関係行政機関からの依頼に基づき、主として危機管理の観点から、原因の究明や汚染の拡大防止、環境の改善を図るための試験検査を実施した。行政依頼検査の実施状況は表7のとおり。

表7 行政依頼検査の概要

調査内容	調査項目	平成28年度		平成27年度	
		件数	検体	件数	検体
魚のへい死等（生物質、水質）	農薬類	4	23	5	19
廃棄物関係	火災発生原因調査	1	4	—	—

(2) 石綿（アスベスト）検査測定

一定規模以上の吹き付けアスベストの除去工事等について、環境対策課からの依頼に基づき周辺環境のアスベスト濃度測定を実施した。検査測定実施状況は表8のとおり。

表8 アスベストの検査測定実施状況

	平成28年度		平成27年度	
	件数	検体	件数	検体
周辺環境調査	0	0	2	8
一般環境調査	0	0	0	0

2 大 気 担 当

大気担当は、①県内の大気環境の監視測定、②酸性雨調査、③騒音・振動・悪臭調査等に関することを主な業務としている。

2-1 大気環境の監視測定調査

(1) 大気常時監視

安芸市、香美市、南国市、いの町、須崎市、四万十市における常時監視測定局7局において、自動測定機で延べ29項目の大気環境の監視と気象の観測を行った。各測定局の設置場所と測定項目は、表1のとおり。

なお、移動測定車は常時監視測定局による測定体制を補完するため、いの町1回（4月～6月）、香美市2回（8月～10月、1月～3月）の測定を実施した。

このうち、環境基準項目の測定結果については光化学オキシダントを除いて基準を達成していた。

(2) 有害大気汚染物質の測定

大気汚染防止法に基づき、継続的に摂取した場合に人の健康を損なうおそれのある物質のうち、特に健康リスクの高い物質の調査を行った。調査場所、項目及び件数は表2のとおり。

このうち、環境基準や指針値が設定されている項目については全て基準等を達成していた。

(3) 工場・事業場の立入検査（ばい煙等測定）

大気汚染防止法に基づく、ばい煙発生施設の立入検査の実施状況は表3のとおり。

表1 測定局別測定項目一覧表

測定局 \ 測定項目	二酸化硫黄	窒素酸化物	一酸化炭素	光化学オキシダント	浮遊粒子状物質	PM2.5	風向・風速	日射・放射量	温度・湿度	炭化水素
1 安芸	○	○		○	○	○	○	○		
2 土佐山田				○		○		○		
3 稲生					○					
4 伊野合同庁舎	○				○	○	○			
5 須崎市押岡公園	○	○			○					
6 須崎高等学校	○				○	○	○			
7 中村	○	○		○	○	○	○	○		
8 移動測定車	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表2 有害大気汚染物質の測定状況

調査項目 \ 年度	平成28年度		平成27年度	
	須崎高等学校	伊野合同庁舎	須崎高等学校	伊野合同庁舎
VOC（11物質）	143件	143件	143件	143件
アルデヒド類（2種）	26件	28件	30件	32件
有害金属（6種）	68件	73件	66件	73件
ベンゾ[a]ピレン	12件	12件	12件	12件

表3 ばい煙等測定実施状況

	ばいじん		硫黄酸化物		窒素酸化物		塩化水素		その他書類検査等	
	H28	H27	H28	H27	H28	H27	H28	H27	H28	H27
年 度 件 数	0	2	0	1	3	4	0	1	7	10
施設	焼成炉	0	0	0	1	1	0	0	1	1
	その他	0	2	0	1	2	0	1	6	9
不 適 合	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- (4) PM_{2.5}の環境基準超過をもたらす地域的/広域的汚染機構の解明

PM_{2.5}の環境基準超過について、広域的な挙動を解明するため、平成25年度から国立環境研究所及び全国の地方環境研究機関との共同研究（Ⅱ型共同研究）に参加し、データの解析、情報共有等を実施した。

2-2 酸性雨調査

- (1) 環境省委託事業（国設栲原酸性雨測定所）

国の酸性雨調査計画に基づき、国設栲原測定所の管理委託を受けて調査を行った。その概要は表4のとおり。

表4 国設栲原酸性雨測定所の調査概要

		平成28年度
調査地点		栲原町太郎川
調査期間		4月1日～3月31日
調査項目	酸性雨	pH, 硫酸イオン, 硝酸イオン, アンモニウムイオン, ナトリウムイオン等10項目
	大気濃度	二酸化硫黄, 窒素酸化物, オゾン, 微小粒子状物質 (PM _{2.5})
	気象	風向, 風速, 気温, 湿度, 日射量, 降水量

<環境放射線調査>

酸性雨調査とあわせて、環境放射線モニタリング調査の委託を受けて、空間放射線量率（環境γ線）、大気浮遊じんの空气中放射能濃度（α線、β線）の調査を行った。

- (2) 県単独調査（香北酸性雨測定局）

雨水や大気由来沈着物の成分を分析し、酸性雨の発生機構解明や沈着物の成分実態に関する基礎資料を得ることを目的として調査を行った。その概要は表5のとおり。

表5 県単独香北酸性雨測定局の調査概要

	調査地点	検体数		項目		延項目数
平成28年度	香美市香北町永瀬	湿性降下物	37	pH等	13項目	481
		乾性降下物 (FP)	25	Na, K等	17項目	425
		乾性降下物 (O-passive)	13	O ₃ , NO _x 等	4項目	52
平成27年度	同上	湿性降下物	42	pH等	13項目	546
		乾性降下物 (FP)	26	Na, K等	17項目	442
		乾性降下物 (O-passive)	13	O ₃ , NO _x 等	4項目	52

2-3 航空機騒音調査

高知龍馬空港周辺における航空機騒音の環境基準達成状況の監視測定を行った。その概要は表6のとおり。

表6 航空機騒音調査の概要

	平成28年度	平成27年度
調査地点	4地点	4地点
調査時期	春・秋期の年2回	春・秋期の年2回
調査内容	7日間連続測定／1回	7日間連続測定／1回
調査結果	L_{den} 値（年平均）46～54	L_{den} 値（年平均）45～54

*環境基準値（単位：dB（デシベル））……地域類型Ⅰ：57dB以下
地域類型Ⅱ：62dB以下

2-4 行政依頼検査

大気、悪臭及び騒音・振動等に関して行政機関からの依頼を受け、調査を行った。その概要は表7のとおり。

表7 公害苦情等に関する依頼調査の概要

	平成28年度		平成27年度	
大気	0件	0地点	0件	0地点
悪臭	0件	0検体	0件	0検体
騒音・振動	0件	0地点	2件	4地点
その他	0件	0検体	0件	0検体

3 水 質 担 当

水質担当は、①県内の水質環境の監視測定、②清流保全関連調査、③水環境保全に関する各種調査研究等を主な業務としている。

3-1 公共用水域・地下水監視測定調査

水質汚濁防止法の規定に基づき、県は国、高知市とともに公共用水域における水質、底質及び地下水水質の監視調査を行っている。当センターでは、平成28年度は36河川49地点、4海域5地点、地下水4地点の合計58地点、底質は1海域1地点について調査・分析を行った。当センターにおける調査項目と検体数は表1のとおり。

表1 公共用水域・地下水監視測定調査項目及び検体数（環境研究センター実施分）

調査項目		平成28年度	平成27年度
		検体数	検体数
水質	生活環境項目	436	646
	健康項目	538	535
	特殊項目	0	0
	その他の項目	3	5
	要監視項目	666	666
地下水	健康項目	68	68
	その他の項目	2	4
	要監視項目	36	36
底質	一般性状	4	5
	健康項目	0	3
	特殊項目	0	5

3-2 工場・事業場の立入検査

（排水監視測定）

排水基準の遵守状況を把握するため、水質汚濁防止法が適用される特定事業場について立入検査を実施した。その概要は表2のとおりであり、平成28年度の不適合事業場は2件であった。

表2 工場、事業場排水監視測定調査

事 項	平成28年度	平成27年度
立入事業場数	63	63
排水測定検体数	183	361
不適合事業場数	2	5

3-3 四万十川条例関連調査

(1) 四万十川清流基準モニタリング調査

清流基準の達成状況を確認するためのモニタリング調査を実施した。調査結果が前年度と大きく変化した地点はなかった。

調査地点と調査回数：10地点、年4回

（春、夏、秋、冬）

調査項目：清流度、水生生物、全窒素（T-N）、全りん（T-P）

(2) 黒尊川清流基準等調査

黒尊川流域の人と自然が共生する地域づくり協定に基づきモニタリング調査を実施した。平成28年度は、夏季の大雨が大きく影響し、清流度5.9～21.6m、水生生物種類数が8から11、ASPT値（平均スコア値）7.5以上、全有機体炭素0.16～0.57mg/L、全窒素0.07～0.29mg/L、全りん0.006mg/L以下であった。

調査地点と調査回数：6地点、年4回

（春、夏、秋、冬）

調査項目：清流度、水生生物、全有機体炭素（TOC）、全窒素（T-N）、全りん（T-P）

3-4 物部川清流保全計画関連調査

物部川清流保全計画は平成20年7月に策定された。平成23年度からは「人の感覚に近い評価指標」を確立するために清流度を加えて調査を行ってきたが、濁りの問題がある限り清流度を測定する対象にはならず、平成28年度から新評価指標になる測定項目により調査を行った。また、舟入小学校とともに2地点において実地調査を行った。

調査地点と調査回数：9地点、年4回

（春、夏、秋、冬）

調査項目：水生生物、濁度、色度、透視度、簡易ろ過測定法

3-5 仁淀川清流保全計画関連調査

第2次仁淀川清流保全計画は平成22年3月に策定され、平成26年度に見直しが行われた。平成28年度から上流域6地点、下流域5地点の計11地点において、水生生物と清流度

を中心に調査を行っている。平成28年度の結果は、清流度は上流域において春夏で2.0～11.4m、秋冬で5.0～8.6mであった。また、下流域においては春夏で0.2～3.7m、秋冬で0.5～6.9mであった。

水生生物についても上流域と下流域とで差があり、ASPT値の年平均値は上流域7.8、下流域で5.8であった。下流域では増水により採取できなかった地点や、季節により指標生物が全く採取できない地点もあった。

全窒素、全りんについては、上流域に比べ下流域の方が高くなる傾向にあった。

調査地点と調査回数：11地点、年4回

(春、夏、秋、冬)

調査項目：清流度、水生生物、全窒素 (T-N)、全りん (T-P)

3-6 南国市地下水の六価クロム汚染対策

平成19年7月に南国市の地下水から環境基準を超える六価クロムが検出され、汚染原因調査、周辺井戸調査、発生源対策を順次実施してきた。発生源対策により汚染は終息化しつつあり、平成20年11月以降は、13か所の定期モニタリング井戸及び梅雨期等の周辺井戸一斉調査においても、いずれも環境基準値以下で推移している。平成28年度の調査件数等は以下のとおり。

検体数：22検体

分析項目：六価クロム

測定結果：全て基準値 (0.05mg/L) 以下であった。

{
 これまでに汚染が確認された井戸：
 51井戸（観測井を除く）
 うち基準値 (0.05mg/L) を超過した井戸：
 32井戸（観測井を除く）
 }

3-7 行政依頼検査

関係行政機関からの調査依頼を受け実施している。平成28年度の調査件数は8件（検体数65）であった（平成27年度は1件）。

表3 行政依頼検査実施状況

平成28年度	
調査内容	調査項目
地下水水質調査	As等重金属
海域水質調査	COD、濁度、色度、塩素イオン、大腸菌群数、全窒素、全りん等
最終処分場の水質調査	SS、BOD、COD、TOC、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 等

3-8 沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究（Ⅱ型共同研究）

国立環境研究所と地方環境研究機関との共同研究の一環として、浦ノ内湾を調査対象とし、生活環境項目に関連する項目の評価、貧酸素水塊の発生状況の確認を軸に調査を行った。

平成28年度の調査では、調査を開始した6月初旬から底層の貧酸素状態が確認され始め、9月には湾奥部にわたる広範囲で最も顕著な貧酸素状態となった。10月以降は貧酸素状態が徐々に解消され、11月中旬には貧酸素水塊は消滅した。

調査地点と調査回数：9地点、9回

調査項目：生物化学的酸素要求量 (BOD)、化学的酸素要求量 (COD)、全有機体炭素 (TOC)、pH、溶存酸素 (DO)、電気伝導度 (EC)、水温、塩分

3-9 水質測定分析精度管理調査

県内の公共用水域水質測定・分析に従事する機関が、共通試料を分析することによって得られる結果とその過程を調査することにより、各機関が行う分析業務に関する課題を把握し、分析技術の一層の向上を図ることを目的に行った。平成28年度は下記の内容で実施した。

分析対象項目：生物化学的酸素要求量 (BOD)、化学的酸素要求量 (COD)

参加者：12機関34名

Ⅲ 調 査 研 究 報 告

バイオマス燃焼灰のペレット化に関する研究

山村貞雄・富田比菜・荒尾真砂*・松尾ちづ**

Report about Pelletization of Biomass Ashes

Sadao Yamamura, Hina Tomita, Masa Arai, Chizu Matsuo

【要旨】 近年、高知県では木質バイオマスの利用拡大を推進しており、それに伴い木質バイオマス燃焼灰（以下「灰」という）の発生量が増加している。灰は肥料資源としての成分を有しているが、その有効利用は進んでいない。

今回、有効利用に向けて、灰の飛散性及び肥料成分の急速な溶出を緩和するためペレット化とその効果を検証した。その結果、ペレット化によって、飛散性が改善され、また、成分の急速な溶出が緩和されることが確認された。中でも、 K^+ 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- において顕著であった。また、pHの上昇も緩和の傾向が見られた。

Key words：木質バイオマス，燃焼灰，ペレット

1. はじめに

地球温暖化防止対策は待ったなしの環境問題として世界的に取り組が進んでいる。

その温暖化対策の一つとして、カーボンニュートラルで再生可能なエネルギーとして木質バイオマスが注目されており、本県でも豊富な森林資源の活用・山林の管理という側面と相まって、木質ペレットボイラーなどの設置が進んでいる。

一方、これら木質バイオマスの利用拡大にともない、廃棄物である灰の増加が予想されるため、この灰の有効活用について検討してきた。¹⁾

しかし、木質バイオマス利用の拡大はさらに進み、発電所の開業など、灰の発生量は年間数千トンに上るものと予想され、畑地での活用はもとより、産業廃棄物として最終処分することもコスト及び施設制約（唯一受入可能な県内の処分場容量：12万 m^3 ）により困難であることから、より広い活用方法の検討が求められている。

ここでは、有効利用の妨げとなる以下の要因について、ペレット化による改善を検討したので報告する。

1) 飛散性の緩和

微粉体・高飛散性であり作業の妨げとなるた

め、飛散性の緩和措置の検討

2) 高アルカリ性の緩和

pH13前後の高アルカリ性。利用者保護及び利用目的の観点からpH調整の検討

3) 有効成分の急速な溶出

溶出の早い成分が多く、溶出速度を低下させる方法の検討

2. 試料

試料とした灰は市内の温室暖房用ペレットボイラーから排出された燃焼灰（飛灰）で、その成分は表1-1、2のとおり。

灰溶出液は「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法」（環境庁告示13号）に基づき調整し ICP-MS（7500ce Agilent社製）を用いて分析した。（表1-1）

また、表1-2は蛍光X線による分析結果を、各成分が酸化物であるとの仮定のもとに%で示した。

3. ペレット化

3. 1 作成条件の検討

株式会社垣内に依頼し、ペレット化を検討した。

* 現衛生研究所 ** 退職

表 1-1 灰溶出液の成分 (13号告示に基づく分析)

pH	EC (mS/cm)	B (mg/L)	Al (mg/L)	T-Cr (mg/L)	Cr ⁶⁺ (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Zn (mg/L)	As (mg/L)	Se (mg/L)	Pb (mg/L)
13.44	42.90	12.83	73.4	0.13	0.05	0.09	0.1	0.24	0.061	0.022	0.006

表 1-2 灰組成

水分 (%)	熱灼 減量 (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	SO ₃ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MnO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	ZnO (%)	SrO (%)	BaO (%)	PbO (%)
0.4	1.0	6.1	0.8	3.1	1.9	3.3	23.5	50.4	2.3	2.4	0.1	0.5	1.5	3.9

予備試験として、ペレット径8mmで、水分添加量12%、及び15%の物を作成した。(図1)

また、高アルカリの緩和を期待して、凍結後粉碎した文旦果皮を33%または50%添加したペレットも作成した。



図 1 試作ペレット

3. 2 結果

どの条件でもペレットは作成できた。その性状は表2のとおり。

表 2 ペレットの性状

添加物等	強度等	特 徴
水分12%	やや脆い	乾燥過程で一部粉状のものができた。
水分15%	堅いがやや荒い	時間とともに強度を増したが文旦添加に比べて緻密さで劣る。
文旦33%	堅いが少し脆い	乾燥するとやや脆くなった。柑橘臭が有り溶出液は黄褐色。
文旦50%	強く緻密	十分な強度。柑橘臭が有り溶出液は黄褐色。

3. 3 作成条件の決定

予備試験の結果から表3の3種類のペレットを作成し当センターでの実験に使用することと

した。なお、水分15%はやや荒さがあつたため、18%とした結果十分な堅さと緻密さを得た。また、文旦の添加量は水分を含む原料調整段階の割合であり、風乾後のペレットでは文旦由来の有機物等の量は6% (灰94%) と12% (灰88%) であつた。

表 3 ペレット作成条件

ペレット径	6 mm		
使用燃焼灰	事業所飛灰		
添加物及び量	水分18%	文旦33%	文旦50%

4. ジャーテスト実験

灰を農地等に散布した場合、降水等によりどのような成分が溶出するか、また、その場合のペレット化の影響を見るためジャーテスト実験を行った。

4. 1 実験方法

使用機器 : JAR TESTING MACHINE
(MIYAMOTO RIKEN)

分析機器 :

pHメーター

電気伝導度 (以下ECとする) 計

イオンクロマトグラフ

(ICS-90 ダイオネクス製)

ICP-MS (7500ce Agilent社製)

実験試料

表 4 実験試料

試料コード	種 別	添加物等
M-飛-0	飛灰	—
M-P-18	ペレット	水分18%
M-P-33	ペレット	文旦33%
M-P-50	ペレット	文旦50%

4. 2 実験手順

各試料20gと純水200mLをプラスチック製ビーカーに入れ、試料に接触しない位置でプロペラ攪拌。(図2)

攪拌は5時間継続した。1時間ごとに上層からサンプリングしECとpHを測定。その後サンプルをろ過してイオンクロマトグラフ及びICP-MSで分析した。

なお、攪拌とサンプリングは1つの試料につき2回ずつ実施した。



図2 ジャーテスト実験

分析項目

イオンクロマトグラフ：

Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- ,
 SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , F^-

ICP-MS：B, Al, T-Cr, Mn, Fe, Ni, Cu,
 Zn, As, Se, Cd, Pb

4. 3 結果及び考察

4. 3. 1 攪拌時間と溶出濃度

ジャーテストによる成分溶出の経時変化を図3に示す。

飛灰では、多くの成分で開始後1時間サンプルから高濃度を示し、4、5時間後にはほとんど増加しない状況であった。

これに対し、ペレット化のサンプルでは、時間の経過とともに、多くの成分で徐々に濃度が増加していった。中でも、 K^+ 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- において顕著であった。

また、pHの上昇も緩和の傾向が見られた。

イオン成分溶出の目安であるECを見てみると、時間の経過にともない、増加してゆく傾向が見られる。また、ペレットの種類で比較すると水や文旦など、添加物の量が多くなるに従って溶出が緩

やかになる傾向が見られた。

ECにおける各サンプルの回帰曲線をもとに、飛灰の5時間後の値(52mS/cm)に、各サンプルが達する時間を求めた。

その結果、M-P-18：7.9時間、M-P-33：25.5時間、M-P-50：30.1時間となり、ペレット化が急激な溶出を緩和する効果が見られた。

また、多くの成分で添加物の量が多い方が除放性を示したが、これは添加物の量が多いペレットがより緻密に仕上がったこと、及び文旦ペレットに関しては、実質的な灰の量が少なくなっていることが影響していると考えられる。

一方、 F^- と Mg^{2+} は文旦添加ペレットが高い値を示しており、これらは文旦由来と考えられるが、後ほど考察を加える。

攪拌時間別の各サンプルイオン構成を図4-1、2に示した。 K^+ と SO_4^{2-} が大きな割合を占めており、時間とともに大きく増加している。図3におけるpHとECの増加傾向は主にこれらの影響を受けているものと考えられる。

また、M-飛-0とM-P-18を比較した場合、ペレット化によって多くのイオンで溶出が抑制されていることがわかる。(図4-2)

K^+ は攪拌1時間の時点で2～5g/L程度溶出しており、肥料として利用可能な濃度である。

4. 3. 2 相関

各成分の相関を表5に示す。

相関係数が0.8を超える強い相関が数多く見られるが、全データを対象としているため、この相関には攪拌時間による溶出濃度の変化の他、ペレット製造法による溶出濃度の変化も反映されている。そのため、対象となる2成分にはあまり相関がなくても製造方法による溶けやすさの変化が似かよっていれば全体としては高い相関を示している。一例を図5に示す。

一方、ペレットの種別ごとの相関では、サンプル数が10となり、誤差が大きく影響するため明確な傾向が見えにくい。

そこで、全体の相関と各ペレットごとの相関がいずれも高い組み合わせを見てみると、すべてで0.7を超える組み合わせは、 K^+ -EC、 K^+ - SO_4^{2-} 、 K^+ - Cl^- 、 K^+ -Alとすべて K^+ との組み合わせであった。

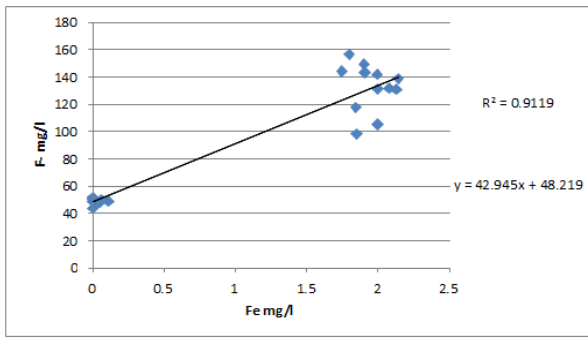
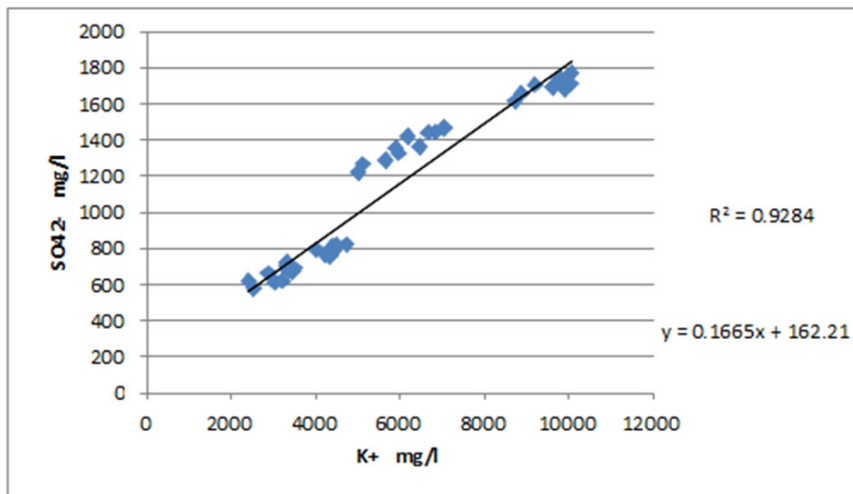


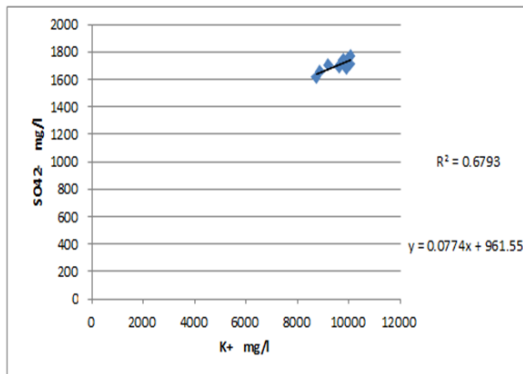
図5 FeとFの相関

K^+ と SO_4^{2-} の相関



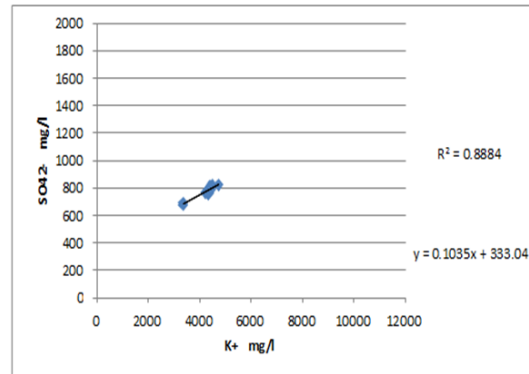
K^+ と SO_4^{2-} の相関

M-飛-0



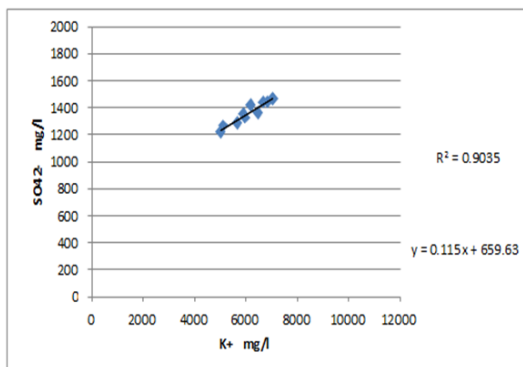
K^+ と SO_4^{2-} の相関

M-P-18



K^+ と SO_4^{2-} の相関

M-P-33



K^+ と SO_4^{2-} の相関

M-P-50

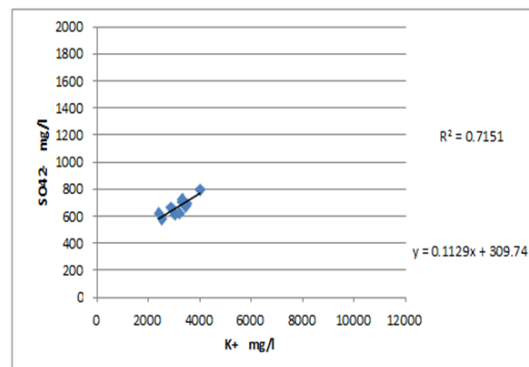
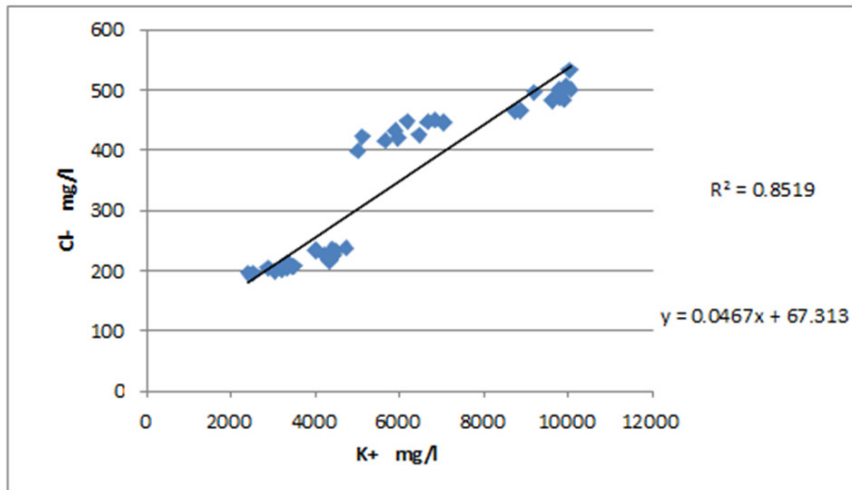


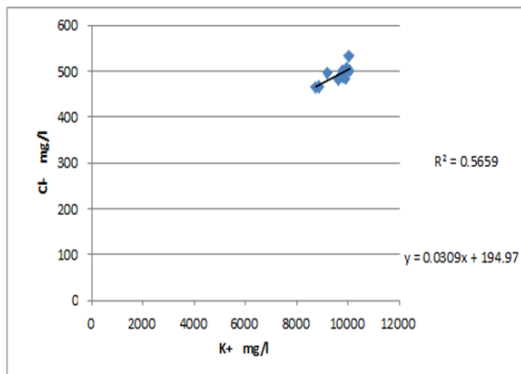
図6-1 K^+ - SO_4^{2-} の分散図

K⁺とCl⁻の相関



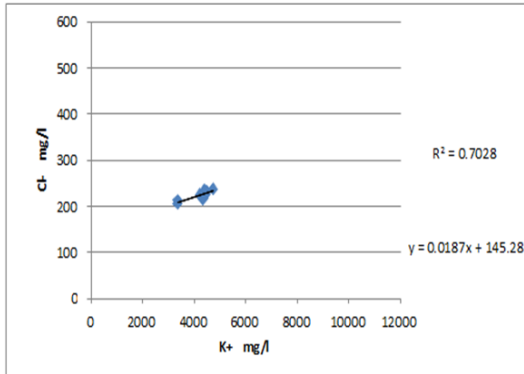
K⁺とCl⁻の相関

M-飛-0



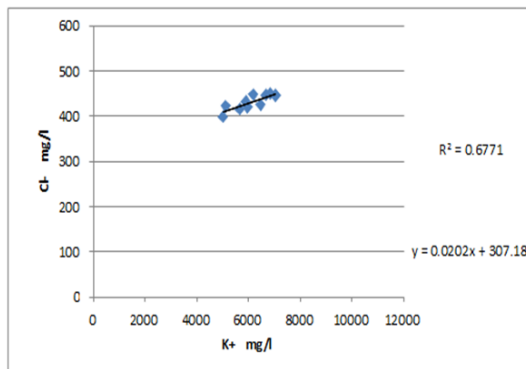
K⁺とCl⁻の相関

M-P-18



K⁺とCl⁻の相関

M-P-33



K⁺とCl⁻の相関

M-P-50

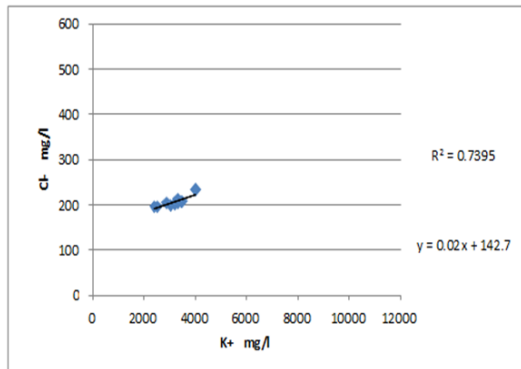
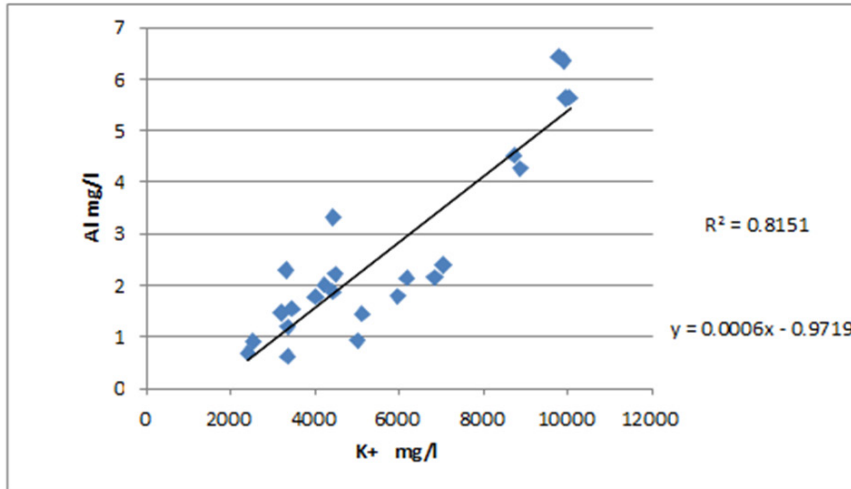


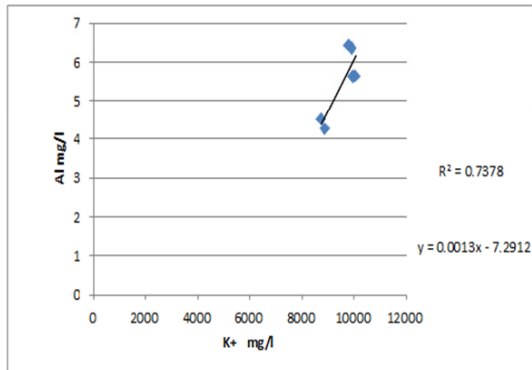
図 6-2 K⁺-Cl⁻の分散図

K⁺とAlの相関



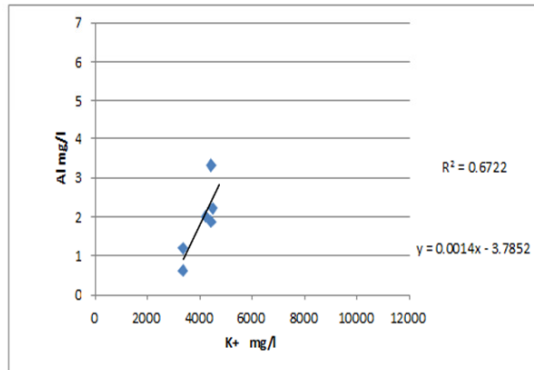
K⁺とAlの相関

M-飛-0



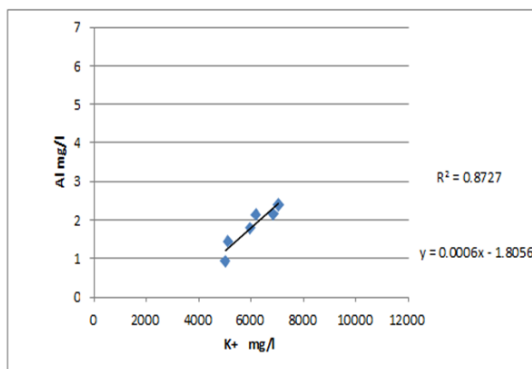
K⁺とAlの相関

M-P-18



K⁺とAlの相関

M-P-33



K⁺とAlの相関

M-P-50

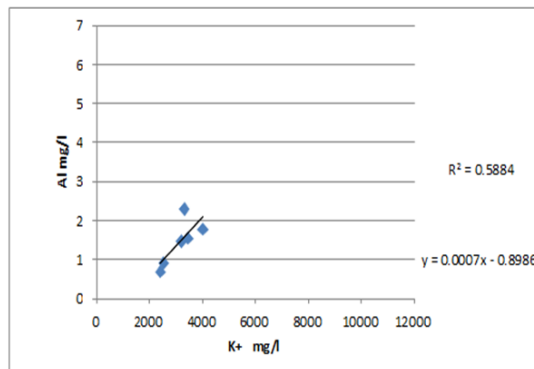


図 6-3 K⁺-Alの分散図

次に、 K^+ と Cl^- では、相関係数はやや下回るものの0.7を超え、M-飛-0では5%，その他は1%有意となっている。

一方、回帰直線の傾きではM-飛-0の0.031に対して他のサンプルは0.020程度となっている。

このことから、 Cl^- はペレット化による溶出抑制を K^+ より強く受けていると考えられる。

また、 K^+ とAlで同様の検討を行った結果、Alがペレット化による溶出抑制を強く受けていることがうかがわれた。

このことから、 K^+ 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、Alという比較的溶出しやすい成分でも、添加する水分量や添加

剤を替えることにより溶出量や速度を制御する可能性が示唆された。

文旦の添加による影響の可能性がある F^- と Mg^{2+} について K^+ との散布図及び、 Mg^{2+} とpHとの散布図を図7-1、2、3に示す。

F^- の場合、文旦の含まれていないM-飛-0、M-P-18では K^+ の濃度に関係なく50mg/L前後のほぼ同じ値を示している。

一方、文旦を含むM-P-33とM-P-50では、 F^- 濃度は100~160mg/L程度と高く、また K^+ 濃度の増加に伴って増加している。

Mg^{2+} では、 F^- ほど明確ではないが4つのグループに分離し、文旦の添加量に応じて Mg^{2+} が増加している。

$Mg(OH)_2$ はpH10から12にかけて急速に溶解度が低下するが、このことは図7-3によくマッチしているように見える。しかし、実際の $Mg(OH)_2$ の溶解度は遙かに低く、ここでは MgO や $Mg(OH)_2$ 由来ではなく、植物由来の有機マグネシウム化合物が関与している可能性が考えられる。また、図7-3のM-P-33グループと他のグループでは、おなじpH値であるにもかかわらず Mg^{2+} 濃度が明確に異なるサンプルが見られる。

これら及び4. 3. 1の図3の考察から、 F^- 及び Mg^{2+} は文旦の影響を受けていると考えられる。

5. まとめ

バイオマス燃焼灰の有効利用に向けて、障害となる飛散性の低下及び肥料成分の急激な溶出を緩和するためペレット化の方法とその効果を検証した。

その結果、水分15%~18%添加ペレット及び、文旦33~50%添加ペレットで十分な強度を得て飛散性が改善された。

また、ペレット化によって成分の急激な溶出の緩和も確認された。中でも、 K^+ 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- において顕著であった。また、pHの上昇も緩和の傾向が見られた。

ペレット化による溶出緩和は成分によって効果が異なることが確認され、添加する水分量や添加剤の検討により目的とする成分の溶出量や速度を制御する可能性が示唆された。

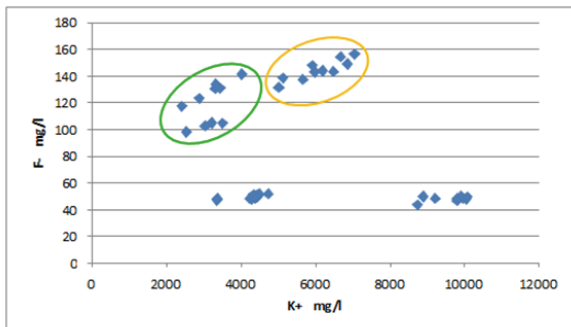


図7-1 K^+ と F^- の散布図

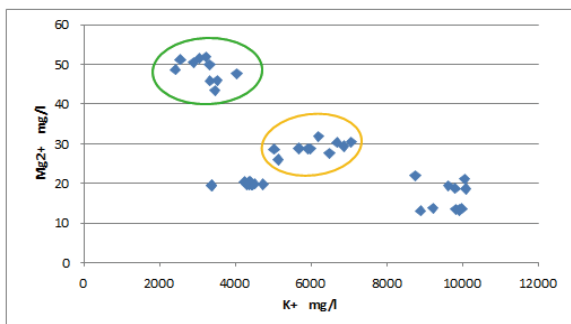


図7-2 K^+ と Mg^{2+} の散布図

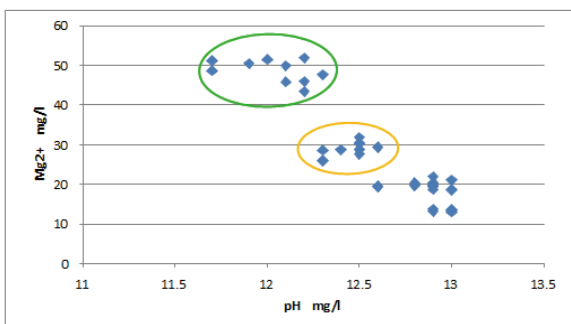


図7-3 pHと Mg^{2+} の散布図

注 ○: M-P-33 ○: M-P-50

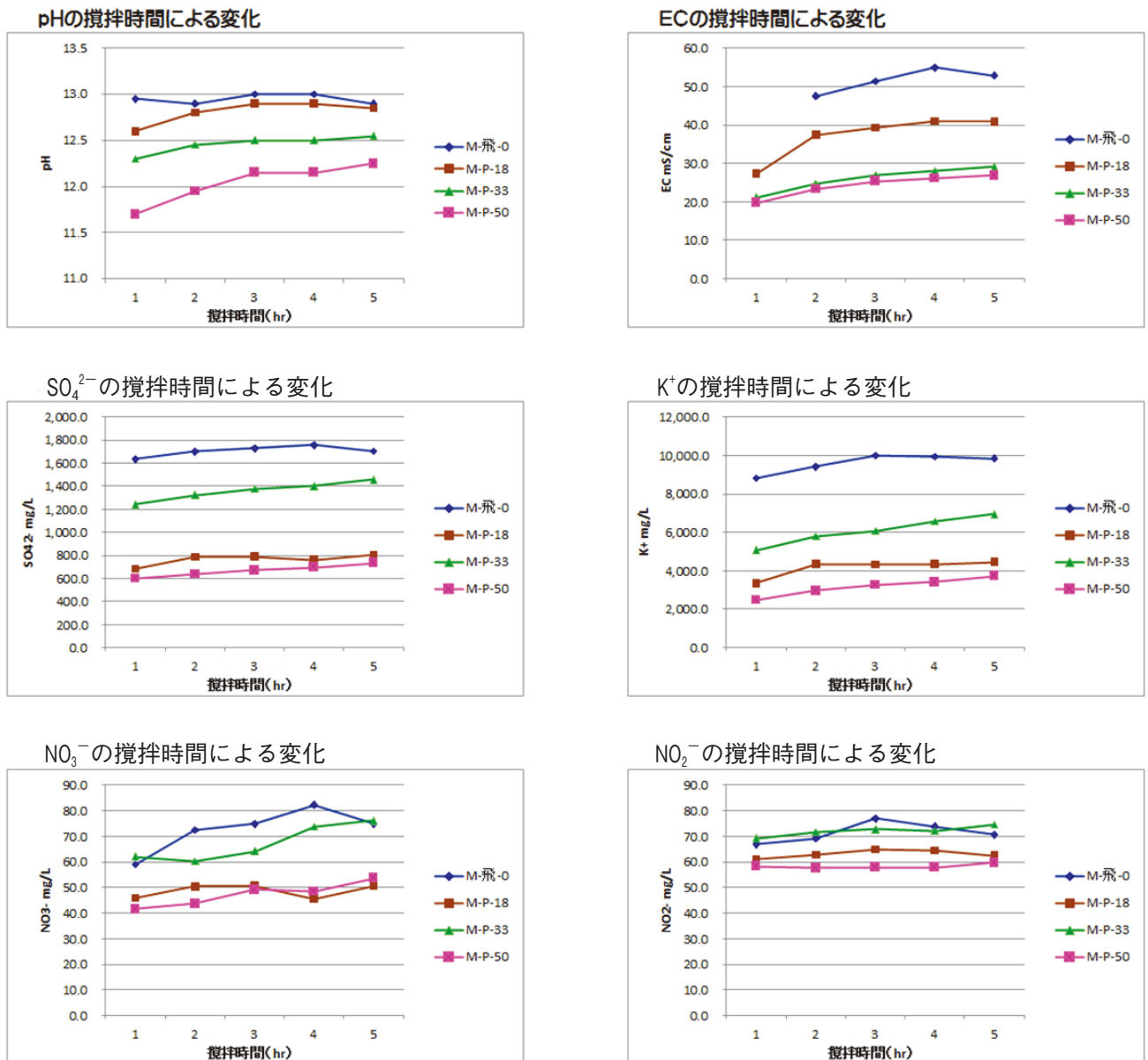
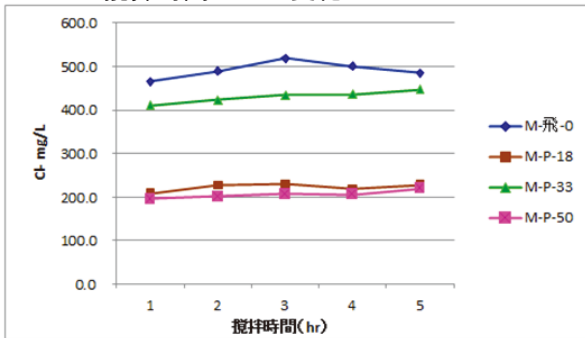
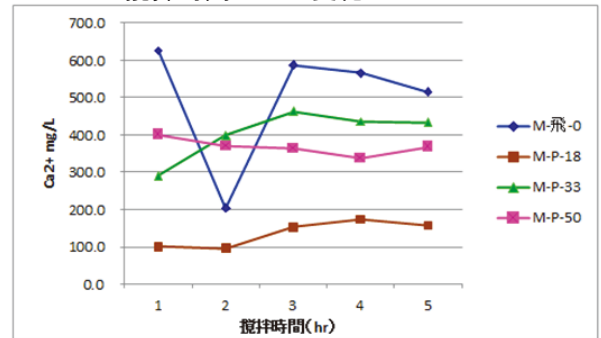


図3 ジャーテスターによる各成分の溶出経過 (pH、EC以外はmg/L)

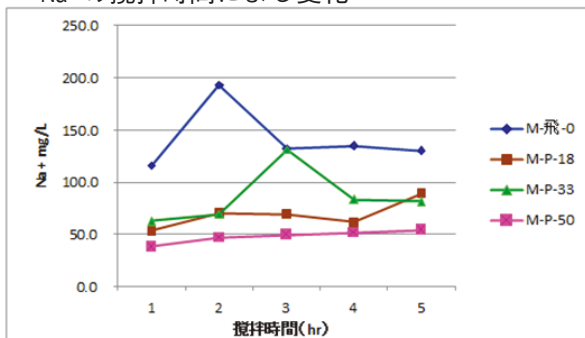
Cl⁻の撪拌時間による変化



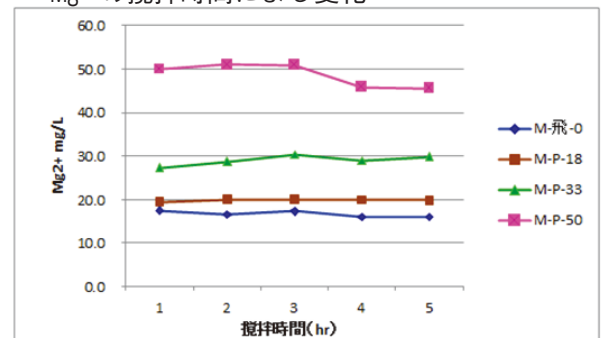
Ca²⁺の撪拌時間による変化



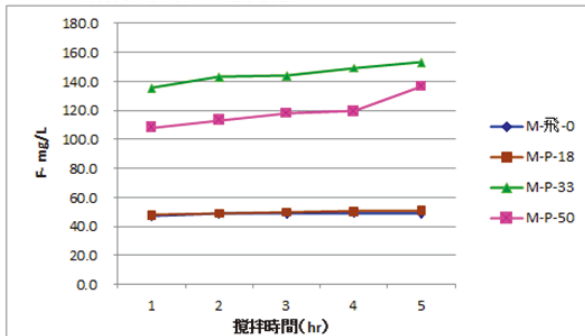
Na⁺の撪拌時間による変化



Mg²⁺の撪拌時間による変化



F⁻の撪拌時間による変化



NH₄⁺の撪拌時間による変化

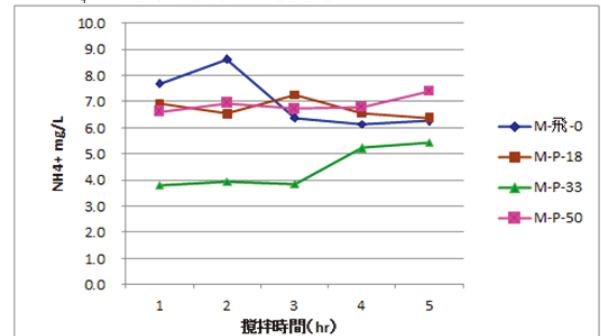


図3 ジャーテストによる各成分の溶出経過 (pH、EC以外はmg/L)



図 4-1 攪拌時間ごとのサンプル別イオン成分量

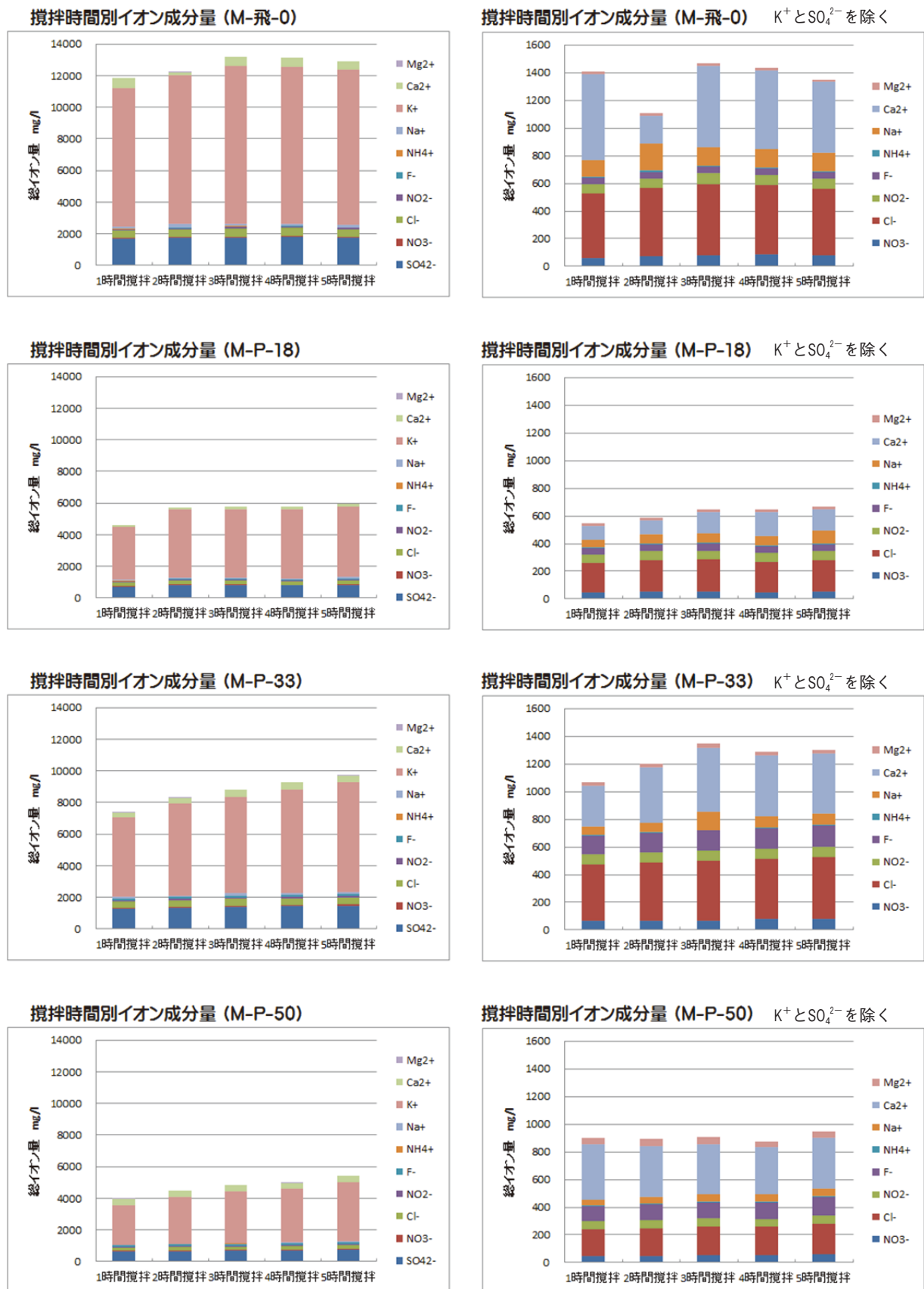


図 4-2 サンプルごとの攪拌時間別イオン成分量

表5 ジャーテスト相関

	pH	EC	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	F ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
pH	1.000											
EC	0.868	1.000										
SO ₄ ²⁻	0.573	0.574	1.000									
NO ₃ ⁻	0.492	0.530	0.914	1.000								
Cl ⁻	0.499	0.470	0.990	0.910	1.000							
NO ₂ ⁻	0.527	0.444	0.823	0.823	0.850	1.000						
F ⁻	-0.691	-0.791	-0.069	0.072	0.033	0.044	1.000					
NH ₄ ⁺	0.142	0.283	-0.170	-0.240	-0.247	-0.382	-0.493	1.000				
Na ⁺	0.600	0.649	0.759	0.643	0.722	0.561	-0.317	0.173	1.000			
K ⁺	0.694	0.766	0.964	0.876	0.923	0.762	-0.295	-0.007	0.786	1.000		
Ca ²⁺	-0.014	0.120	0.590	0.525	0.598	0.468	0.214	-0.264	0.336	0.540	1.000	
Mg ²⁺	-0.922	-0.764	-0.569	-0.471	-0.514	-0.536	0.654	0.019	-0.560	-0.647	0.080	1.000
B	0.478	0.661	0.339	0.368	0.245	0.152	-0.306	0.301	0.375	0.509	0.443	-0.154
Al	0.683	0.904	0.775	0.673	0.698	0.502	-0.517	0.130	0.722	0.903	0.594	-0.558
T-Cr	0.594	0.825	0.450	0.320	0.344	0.172	-0.663	0.269	0.510	0.613	0.307	-0.519
Mn	-0.852	-0.821	-0.356	-0.173	-0.273	-0.267	0.905	-0.246	-0.471	-0.503	0.061	0.901
Fe	-0.817	-0.849	-0.263	-0.081	-0.163	-0.149	0.955	-0.371	-0.424	-0.451	0.050	0.811
Ni	-0.082	0.093	0.133	0.195	0.120	-0.045	0.102	0.186	0.053	0.113	-0.015	0.083
Cu	-0.163	0.022	0.159	0.196	0.150	-0.077	0.175	0.208	0.068	0.128	0.084	0.189
Zn	0.018	0.146	-0.082	-0.047	-0.116	-0.207	-0.084	0.060	-0.040	-0.049	-0.145	0.006
As	0.685	0.792	0.085	0.047	0.002	0.117	-0.756	0.361	0.314	0.301	-0.111	-0.523
Se	0.517	0.485	0.231	0.036	0.165	0.167	-0.582	0.343	0.297	0.320	0.018	-0.509
Cd	-0.432	-0.460	-0.008	0.129	0.039	0.109	0.607	-0.353	-0.309	-0.142	0.164	0.347
Pb	-0.633	-0.727	-0.045	0.086	0.068	0.088	0.842	-0.576	-0.300	-0.278	0.014	0.481

	B	Al	T-Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb
B	1.000											
Al	0.694	1.000										
T-Cr	0.604	0.829	1.000									
Mn	-0.236	-0.560	-0.628	1.000								
Fe	-0.340	-0.577	-0.676	0.977	1.000							
Ni	-0.055	0.197	0.363	0.110	0.111	1.000						
Cu	-0.050	0.194	0.312	0.210	0.203	0.969	1.000					
Zn	0.131	0.201	0.286	-0.031	-0.064	0.419	0.339	1.000				
As	0.499	0.502	0.575	-0.693	-0.751	-0.052	-0.169	0.109	1.000			
Se	0.217	0.408	0.564	-0.620	-0.631	0.187	0.107	0.326	0.354	1.000		
Cd	-0.149	-0.266	-0.316	0.516	0.546	0.208	0.181	0.116	-0.519	-0.086	1.000	
Pb	-0.475	-0.481	-0.520	0.743	0.841	0.182	0.196	-0.033	-0.735	-0.425	0.636	1.000

参考文献等

- 1) 十川紘一, 山村貞雄:「木質ペレット燃焼灰を適正かつ安全に有効利用するための調査研究」高知県環境研究センター所報, 27, 17-23, 2009
- 2) 中平龍介:「木質バイオマス焼却灰の施用が土壌pHに及ぼす影響」高知大学農学部農学科食料科学コース植物栄養学研究室 2016年3月卒業論文
- 3) 柳沢和道:「バイオマス焼却灰の再資源化, 海洋性藻類を中心とした地域バイオマスリファイナリーの実現に向けた新技術の創出報告書」(2016年度)
- 4) 野村里美:「木質バイオマス焼却灰の演習林土壌への施用が土壌及び浸透水の理化学性に及ぼす影響」高知大学農学部農学科食料科学コース植物栄養学研究室 2017年3月卒業論文
- 5) 松中照夫:「土壌学の基礎」 社団法人農山漁村文化協会, 2003

木質バイオマス燃焼灰散布が模擬土壌斜面の浸出水に与える影響

富田比菜・山村貞雄・松尾ちづ*

Effects of biomass ashes putting on the model soil slope on soil leachate

Hina Tomita, Sadao Yamamura, Chizu Matsuo

【要旨】 近年、高知県では木質バイオマスの利用拡大を推進しておりバイオマスボイラーの設置が増大している。それに伴い木質バイオマス燃焼灰（以下「灰」という）の発生も増加している。灰は肥料資源としての成分価値を持っているが、過去に六価クロム等の重金属が検出されたこともありその有効利用は進んでいない。

今回、有効利用に向けて、灰を林地へ散布した場合に灰が浸出水へ与える影響を、実験室内に作成した模擬斜面を使用して調査した。その結果、灰散布は森林や畑地への肥料として活用できるが、季節や散布量によって土壌へ与える影響が異なるため、その適正量を守ることや、散布の時期や散布方法の工夫が必要であることがわかった。

Key words：木質バイオマス，燃焼灰，浸出水

1. はじめに

近年、木質バイオマスはカーボンニュートラルで再生可能なエネルギー資源として注目されており、高知県においても豊富な森林資源の活用・山林の管理という側面から木質バイオマスボイラーの設置が進んでいる。平成28年度末時点の県内のバイオマスボイラー導入台数は275台であり、平成21年度末の21台と比較すると10倍以上となっている¹⁾。

一方、木質バイオマスの利用拡大に伴い、灰の発生量の増加が予想されるため、高知県では灰の有効活用について検討してきた。そうした中、環境省の通知において「有効活用が確実で、かつ不要物と判断されない焼却灰は、産業廃棄物に該当しない」との解釈が示された²⁾。また、灰は肥料成分を含むことから、耕作地等への施用を念頭に、高知県では平成26年7月31日付けで「木質バイオマス燃焼灰の自ら利用の手引き」が取りまとめられた。しかし、過去に六価クロム (Cr^{6+}) 等が検出されたこともあり、灰の有効利用は進んでいない³⁾。

木質バイオマス利用の拡大はさらに進み、平成26年には大型施設である木質バイオマス発電所が高知県内に複数開業した。また今後は地域型エネルギー循環モデルとして小規模発電設備の設置が推進される見込みであり、灰の発生はさらに増加することが考えられる。

これらの背景から、当センターでは灰を安全かつ適正な循環資源として有効利用することを視野に、県内の事業所から発生した灰について化学組成の把握や溶出試験を行ってきた。

今回は、灰を林地へ散布した場合に地下浸出水へ与える影響を、実験室内に作成した模擬斜面を用いて調査したので報告する。

2. 模擬斜面

2. 1 使用土壌

当センター内実験室に模擬斜面を作成するため、平成28年6月に高知県森林技術センター内林地において、腐葉土及び表土を取り除き、その下の土を採取した。土壌は褐色森林土壌であった。

当センターにおいて風乾し、1 cm以上の石を目

* 退職

視で取り除いたものを使用した。

2. 2 模擬斜面の概要

斜面を形成するための容器として、縦74cm横27.5cm深さ7cmのバットを使用した。バットには浸出水を採取するための穴を5ヶ所あけた。底に園芸用軽石1kgを入れ、その上に上記の土を12kg敷き、約20度の傾斜に設定したものを模擬斜面とした(図1)。

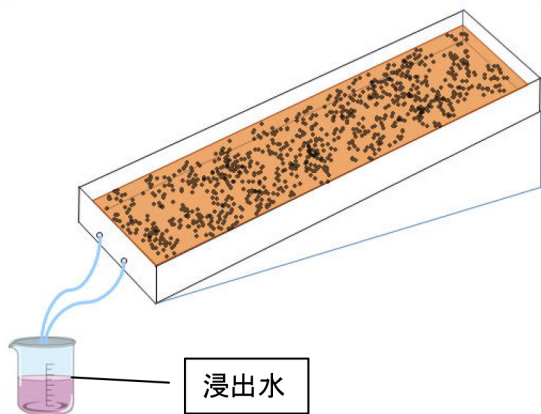


図1 模擬斜面概略図

3. 使用木質バイオマス燃焼灰

県内事業所のペレットボイラー1機から発生した灰を平成28年3月に採取し、実験に使用した。

主な化学組成を表1に示す。

「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法」(環境庁告示13号)に基づき調整した溶出液のpH、電気伝導度(EC)及び金属元素濃度は表2のとおりであった。溶出液は強アルカリ性であった。なお、高濃度の重金属の溶出は確認されなかった。溶出液のイオン成分は表3のとおりであった。

なお、この灰においてカルシウム(Ca)は炭酸

カルシウムとして存在しており、カリウム(K)は水溶性物質として存在している⁴⁾。

表3 灰溶出液のイオン成分濃度(mg/L)

	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺
溶出液	1110	53.8	4060	158	10.6	11800	132

4. 方法

4. 1 実験方法

模擬斜面は一度の実験で4面用意した。全ての面の湿潤状態を同等にするため、軽石及び土壌を充填したバットに水平状態で超純水5Lを流した後、2日間水平で放置し、その後各バットを約20度に傾け、水が出なくなるまで放置した。

それぞれの斜面の灰散布前の値をとるため、全ての斜面に超純水500mLを霧吹きで散水し、1時間半後に浸出水を回収した。これを1日目とする。

翌日(2日目)、後述する量の灰を散布し、1日目と同様に超純水500mLを霧吹きで散水した。散水1時間半後に採取容器内の浸出水を全て採取した。以後30日間、超純水500mLを霧吹きで10分間程度かけて散水し、1時間半後に浸出水を回収した。灰を散布し、浸出水を採取している状態の模擬斜面の概略図を図1に示す。

なお、1回に散水する水の量は、高知県の過去30年間の降雨日(降水量が20mmを超える日)の平均降水量(約56mm/日)をもとに、1時間の平均降水量を算定し、模擬斜面の面積(約0.2m²)から500mLと設定した。

4. 2 実験実施時期、条件及び灰散布量

実験は夏季と冬季の2回実施した。それぞれの条件及び灰散布量を表4に示した。

表1 灰の主な化学組成(酸化物に換算して算出)(wt%)

	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	MnO	Fe ₂ O ₃	ZnO	SrO	BaO	PbO
燃焼灰	6.1	0.8	3.1	1.9	3.3	23.5	50.4	2.3	2.4	0.1	0.5	1.5	3.9

表2 灰溶出液のpH、EC及び金属濃度(mg/L)

	pH	EC (mS/cm)	B	Al	T-Cr	Cr ⁶⁺	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb
溶出液	13.4	42.9	12.8	73.3	0.13	0.054	0.085	0.14	<0.003	<0.01	0.24	0.061	0.022	<0.0003	0.0064

表 4 実験実施条件及び灰散布量

	夏 季				冬 季			
実施期間	平成28年 7 月25日～ 8 月24日				平成29年 2 月27日～ 3 月29日			
平均気温, 湿度	28.7℃, 72% (平成28年 8 月高知の平均値, 気象庁)				10.2℃, 56% (平成29年 3 月高知の平均値, 気象庁)			
使用土	森林技術センター内林地採取土壌 (平成28年 6 月採取)				森林技術センター内林地採取土壌 (平成28年 6 月採取し, 風乾処理後ビニール袋にて保存していたもの)			
散布灰	県内事業所ペレットボイラーから発生した木質バイオマス燃焼灰 (平成28年 3 月採取)							
散布量	0 g	20g	40g	40g	0 g	20g	40g	200g
図表中 サンプル名	夏_BL	夏_灰20g	夏_灰40g①	夏_灰40g②	冬_BL	冬_灰20g	冬_灰40g	冬_灰200g

灰散布量は、畑地へのK施肥量を参考に計算し約0.2m²に対して20gの散布を肥料として適切な量として設定した(1 t/ha). 灰40g散布はその倍量, さらに灰200g散布は「大量散布」と考え, 林地に山積みされた場合を想定した.

5. 分析

5. 1 浸出水

採取した浸出水については, 色度及び濁度を測定後, メンブランフィルター(0.45μm)でろ過した後pH及びECを測定した. 金属元素測定用として硝酸を5%の濃度となるように添加して保存し, ICP質量分析法で金属元素を測定した. また, イオン成分をイオンクロマト分析法で測定した. 金属元素及びイオン成分の測定項目については 6. 4 及び 6. 5 参照.

5. 2 土壌

実験終了後の土壌を, 斜面上部と下部から採取し, 2 mmのふるいにかけて保存した. 土 6 g に対し超純水30mLを加え 1 時間振とう後, 1 時間静置し上澄みのpHを測定した. さらに, 交換性陽イオン分析のため, pH測定後のサンプルに1.33N酢酸アンモニウム溶液90mLを加え, 1 時間振とう後ろ紙(ADVANTECH No. 6)でろ過し, ろ液のマグネシウム(Mg), Ca及びKを原子吸光法で測定した⁵⁾.

6. 浸出水の結果と考察

6. 1 浸出水採取液量(図 2)

1 斜面あたりの採取液量は概ね250mL/日程度で

あった.

しかし, 夏季の灰40g散布のうちの1面(グラフ上サンプル名: 夏_灰40g②)は20度に傾けた際に斜面にひび割れが入ったことと, 真上に換気口があったことから, 他の斜面と比較して乾燥が激しく, 水量は31日間で最小値26mL, 最大値236mLと大きく変動した. このことはその他の分析結果にも影響を及ぼし, 夏_灰40g②のみ濃度が乱高下する項目もあった. なお, 冬季実験時には換気口の風が当たらないように風除けを設置したため影響は受けなかった.

冬季実施の灰200gでは, 灰散布日である2日目は灰が多くの水を吸収してしまい採取水量24mLとなり一部項目は測定できなかった. その後, 168mL, 207mLと徐々に水量は増えていき8日目には他の斜面と同等の水量を回収できた.

6. 2 色度及び濁度(図 3)

夏季では, 灰40g②が6. 1で述べた理由から色度及び濁度も変動したが, それ以外のサンプルは5度以下で大きな変動なく減少傾向を示した.

冬季では, 灰200g以外のサンプルの色度は実験開始直後には変動したがだんだんと落ち着いていった. 灰200gは, 色度が7日目から上昇し以降は120度前後と高い状態が続いた. 外観は濃い茶褐色の液であった. これは灰により浸出水が着色したためと考える. 濁度は他のサンプルと比較して少し変動はあるものの色度ほどの差は見られなかった.

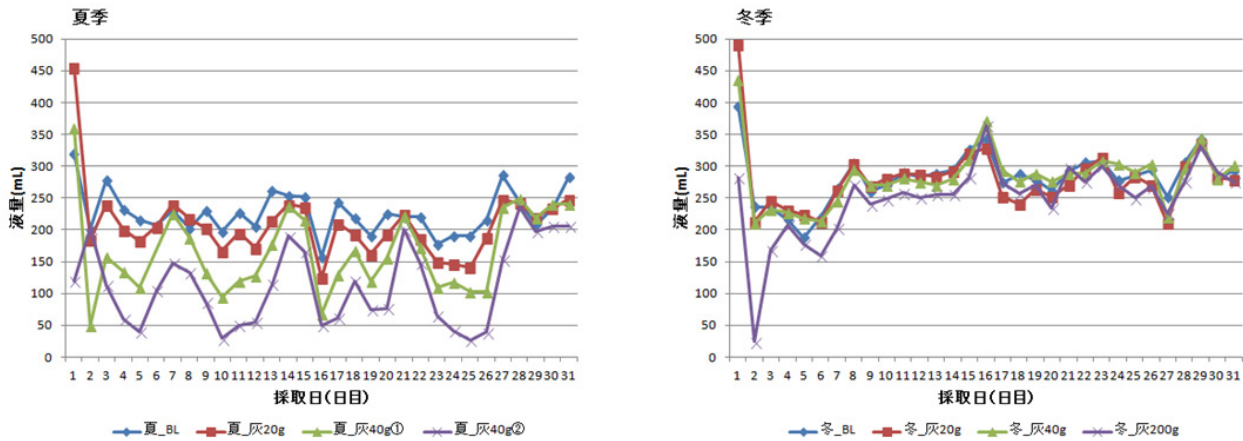


図2 模擬斜面浸出水の採取液量の推移

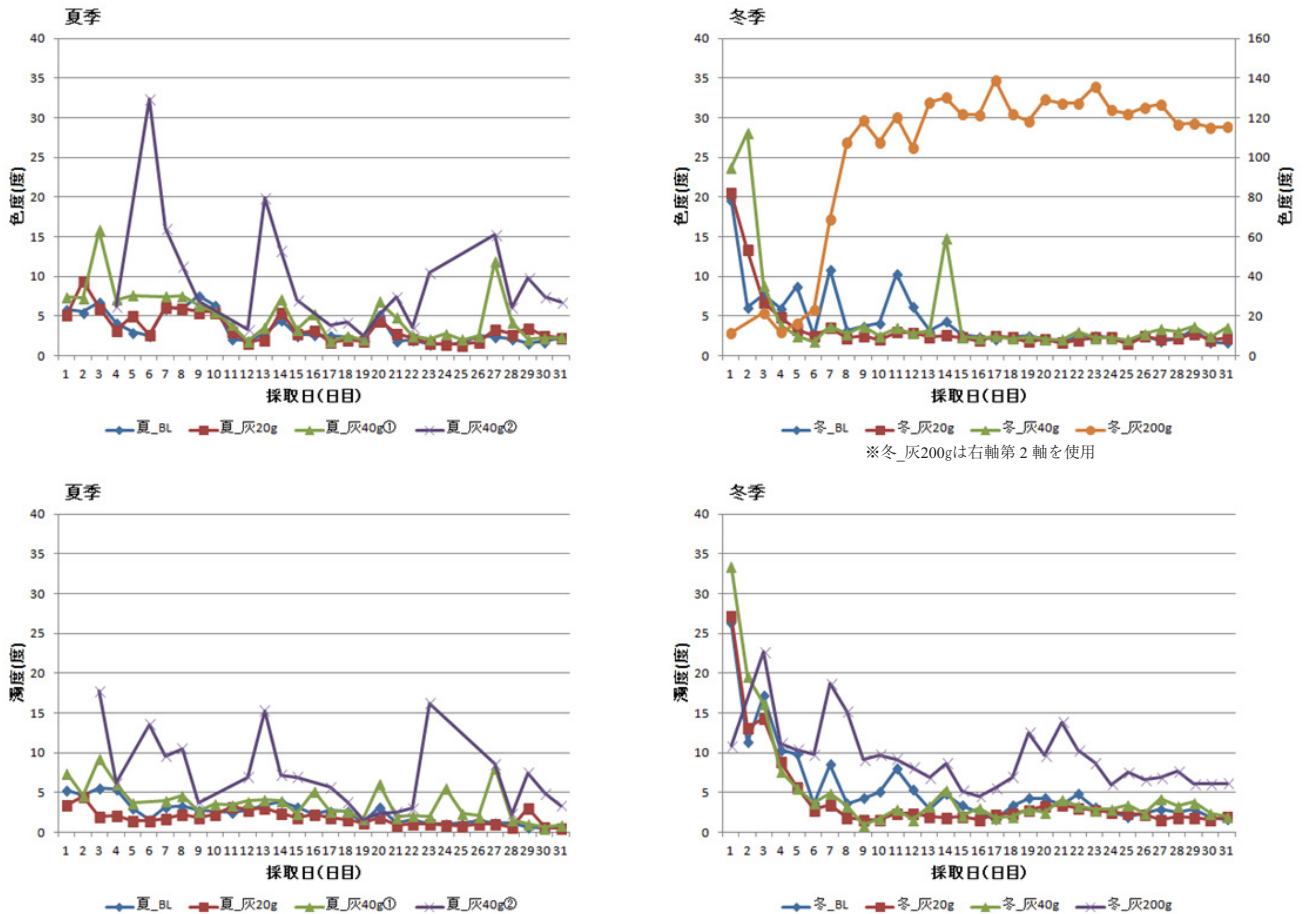


図3 模擬斜面浸出水の色度及び濁度の推移

6. 3 pH及びEC (図4)

夏季では、全てのサンプルにおいてpHは5.5程度の弱酸性から始まり、通水の繰り返しとともに低下し、最終的に4.2程度となった。

一方冬季では、BL、灰20g及び灰40gではpH5.0付近で推移しあまり変化しなかった。灰200gでは7日目までは5.0以下で若干低下していたが、8日目から急激に上昇し、12日目からは8.0付近

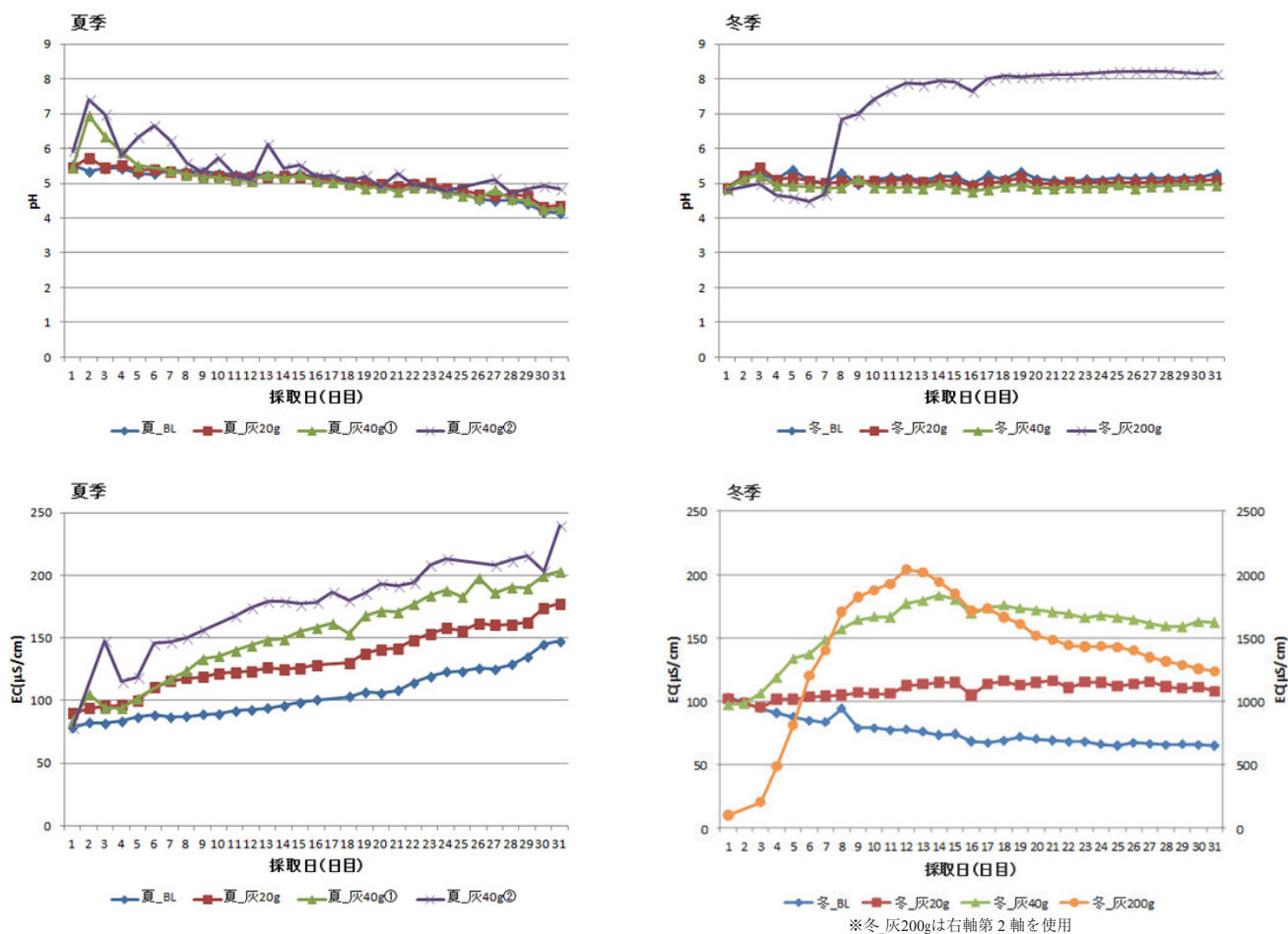


図 4 模擬斜面浸出水のpH及びECの推移

で推移しており、他とは異なる挙動を示した。灰 200g に関して、pH は 8 日目に上昇しており、これは色度が上昇した 7～8 日目と合致している。また両項目とも 8 日目以降は高い値を保っており似た挙動を示していることから、灰中の何らかの着色成分の溶出は pH と関係している可能性がある。

イオン成分量の目安であるECは、夏季では全ての斜面において最初は $80\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度であったが、散水の繰り返しにより増加傾向を示した。また、散布した灰の量が多いほどECの増加量も多くなっており、最終的にBL： $150\mu\text{S}/\text{cm}$ 、灰20g： $170\mu\text{S}/\text{cm}$ 、灰40g： $200\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度となった。

一方冬季では、最初は全て100 μ S/cm程度であったが、BLは実験期間中を通して減少傾向を示し、灰20gは100～120 μ S/cmで推移した。また、灰40gは増加傾向を示し13日目には180 μ S/cmに達し、その後は減少傾向を示した。灰200gは増加傾向が、他と比較して急激であり6日目には1200 μ S/cmに

なり、12日目には最も高い $2040\mu\text{S}/\text{cm}$ に達した。その後は減少し31日目は $1239\mu\text{S}/\text{cm}$ となった。

6. 4 金属元素

6. 4. 1 ホウ素 (B) (図 5-1)

Bは夏季冬季共に同様の挙動であり、BLはほぼ一定濃度で推移したが、灰を散布したものは一定の上昇傾向を示した。浸出水中のBは土壌の影響を受けず灰のみの影響を受けていると示唆される。

灰200gでは最終的に0.4mg/L程度に達した。Bは植物にとって必須元素であるが許容範囲は狭く、過剰症を起こすこともある。植物種により過剰症を起こす濃度は異なるため⁶⁾、灰の大量投与には注意が必要となる。

6. 4. 2 アルミニウム (Al) (図 5-1)

AIは夏季と冬季で逆の挙動となっている.

夏季は、全てのサンプルで前半は一定濃度で推移し、18日目頃から急激に上昇している。AlはpHが中性付近では溶解度は低いが、酸性またはアルカリ性になると溶解度が高まり、酸性の場合、pH 5より低下すると急激に溶解度が大きくなる⁷⁾。例えば、夏_灰40g①では18日目に浸出水のpHが4.98と5を下回り、このことがAlの溶出を増加させていると考えられる(図6)。夏季の最終時点において、Al濃度はBLで最も高く、灰散布斜面では低くなっている。これは、灰の散布により土壌pHが変化し、Alの溶出が抑えられたためと推測する。

冬季はBL及び灰20gでは概ね下降傾向で推移し、灰40gでは2, 3日目に下降した後、上昇、その後再度下降している。これらもpHの微妙な変化による影響と考える。また、灰200gについては4日目に大きく上昇し、6日目に最高値である9.2mg/Lとなっている。その後一度0.87mg/Lに減

少した後、再度3mg/L程度まで上昇し、その後下降している。6日目は最もpHが低下しており、Alの溶解度が最も高くなったと考える。また、8日目のpHは6.84と中性であり、この時点では溶解度は低くなっているが、その後pHは8程度まで上昇し、このことがAlの溶解度へ影響を及ぼしている。

酸性土壌において、pHの低下によりAlは土壌中の水分に溶解し植物に強い毒性を示す。夏季の結果を見ると、灰散布による土壌酸性化の抑制によってAlの害を緩和する可能性も考えられるが、冬季の灰200gの結果を見ると多量の灰散布はより強い害を引き起こす危険もあると考えられる。

6. 4. 3 マンガン (Mn) (図5-2)

Mnは夏季と冬季で初期濃度が異なった。土壌中のMnは土壌乾燥に伴い交換態Mnが増加することが報告されている⁸⁾。今回実験に使用した土壌は、夏季冬季ともに平成28年6月に採取したものを使

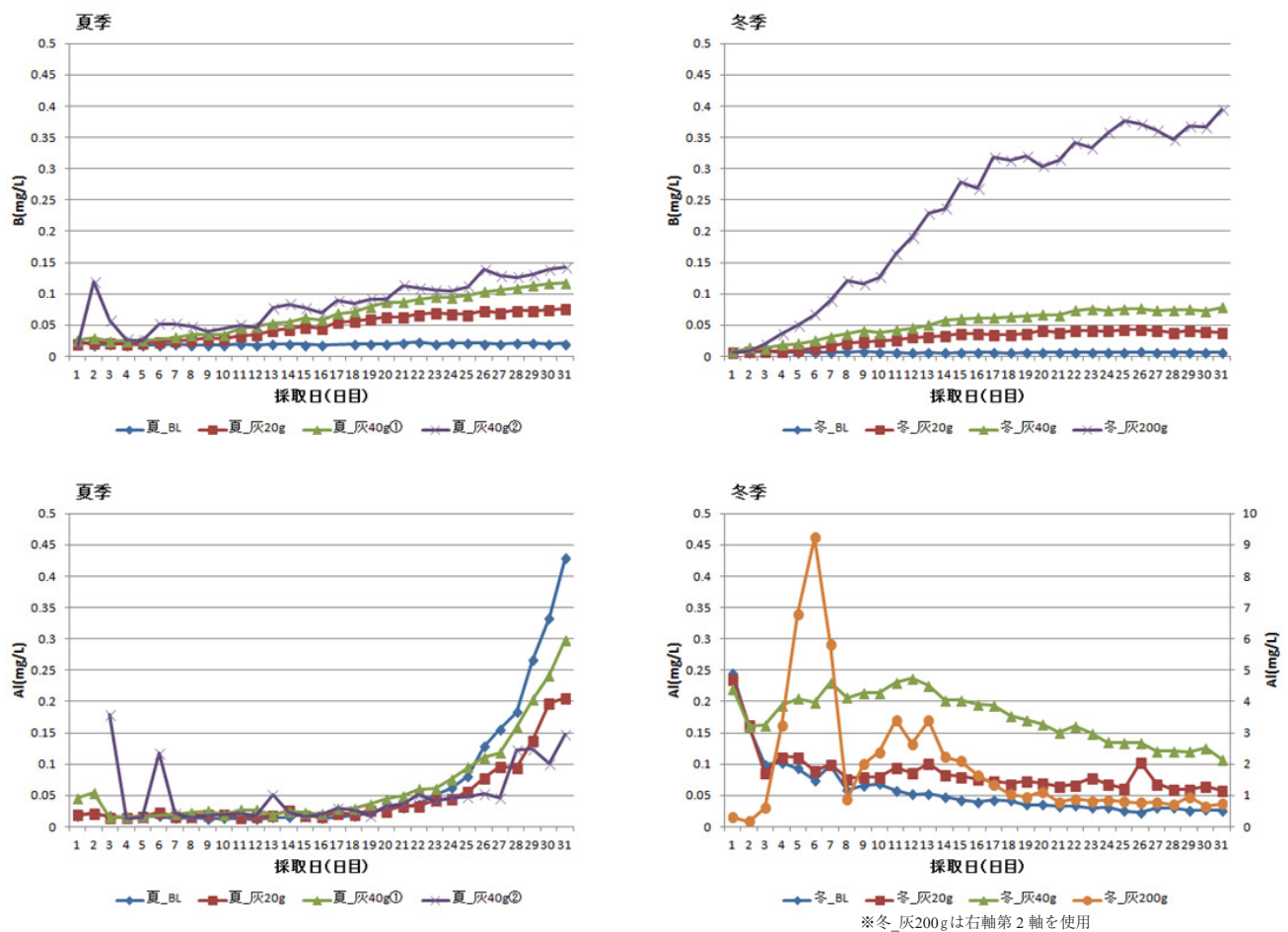


図5-1 模擬斜面浸出水の金属成分の推移 (B, Al)

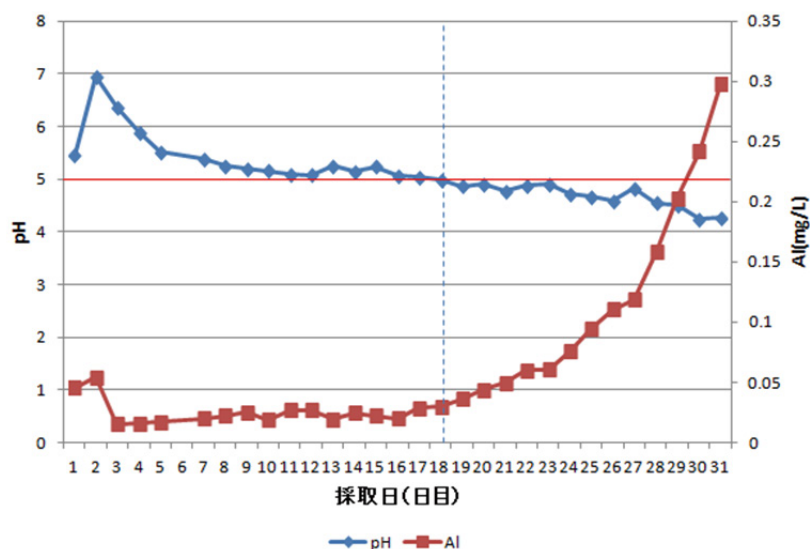


図6 夏_灰40g①における浸出水のpHとAl濃度の推移

用したため、冬季の方は風乾が進んだ状態だった。そのため溶出しやすい形態の土壌中のMnが増加したと考える。

浸出水中Mn濃度は、夏季は全てのサンプルで中盤まで低下しその後上昇した。これはpHや湿潤状態等複数条件によってMnの形態が変化したためではないかと推測する。冬季は、約半年間の保管によりMnが溶出しやすい形態になった状態で実験を開始したため、実験途中での形態変化があまり起きず、土壌にあったMnが散水の繰り返しにより溶出し、徐々に濃度が低下したと考える。灰200gでは、4日目から急激に上昇し最高で10.3mg/Lに達した後に減少しており、これは灰

由来のMnである可能性がある。Mnは植物にとって必須成分であるが土壌溶液に過剰に溶け出したMnは生育へ悪影響を及ぼすため、灰の大量散布は問題となる恐れがある。

6. 4. 4 その他金属（鉄, ニッケル, 銅, 亜鉛, カドミウム, 鉛, ヒ素, セレン）（図5-3～5-4）

その他金属は前述した3金属と比較して低い濃度であった。変動があったものはいずれも環境に影響を与える濃度ではなかった。なお、灰200gでは他のサンプルと比較して高い濃度で検出されることが多かった。

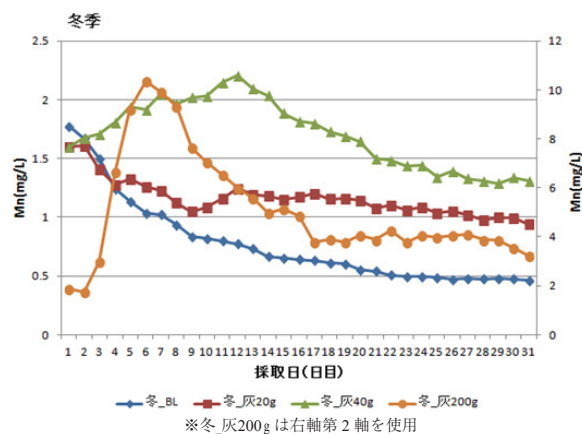
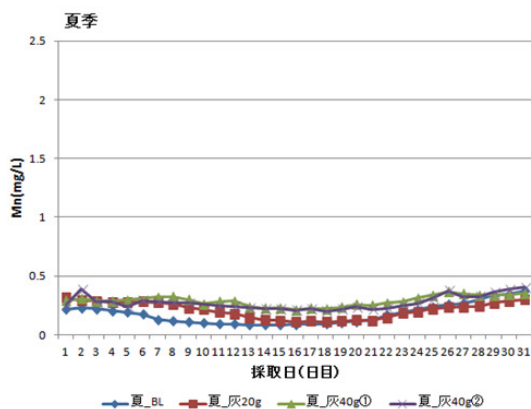


図5-2 模擬斜面浸出水の金属成分の推移 (Mn)

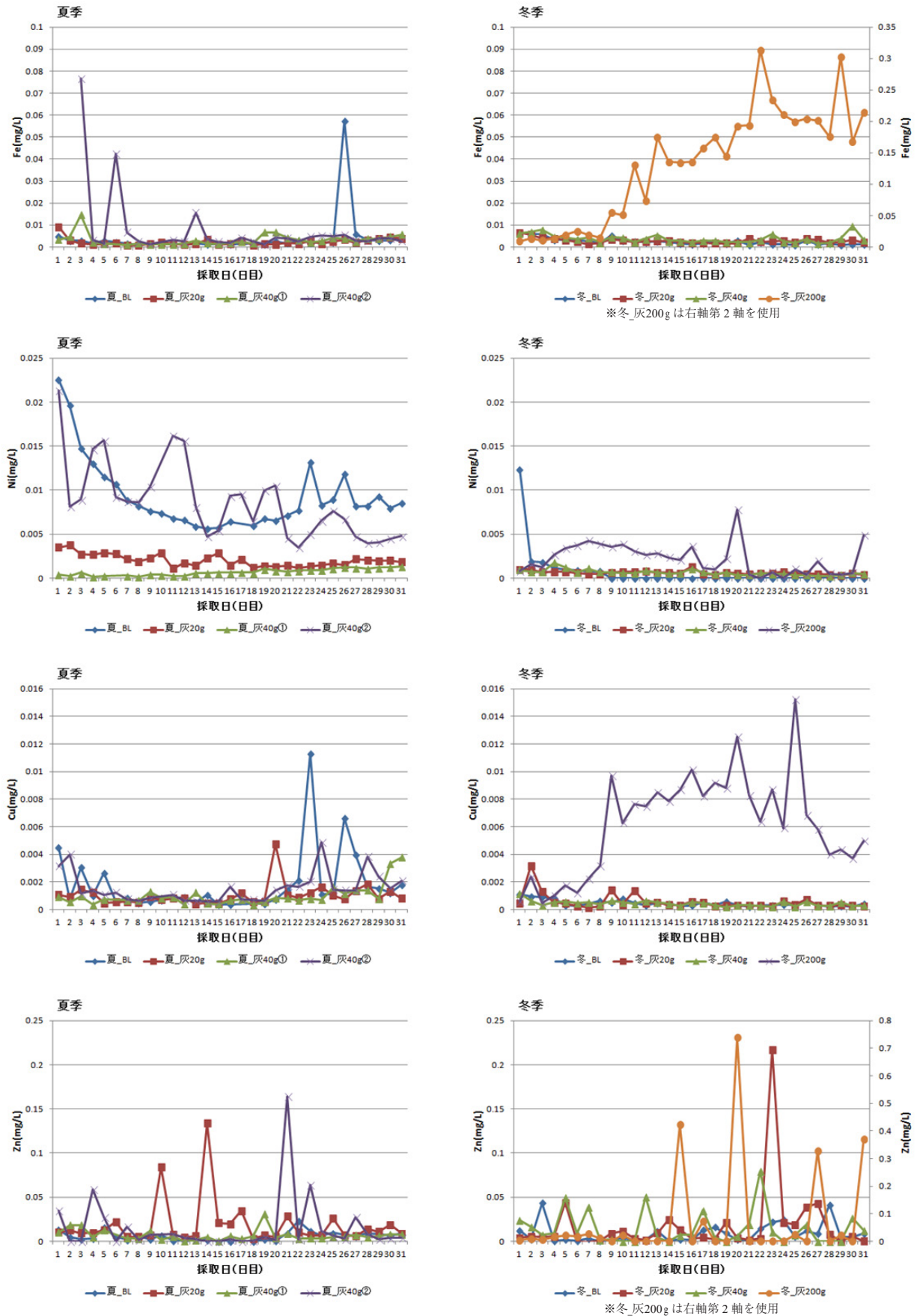


図 5-3 模擬斜面浸出水の金属成分の推移 (Fe, Ni, Cu, Zn)

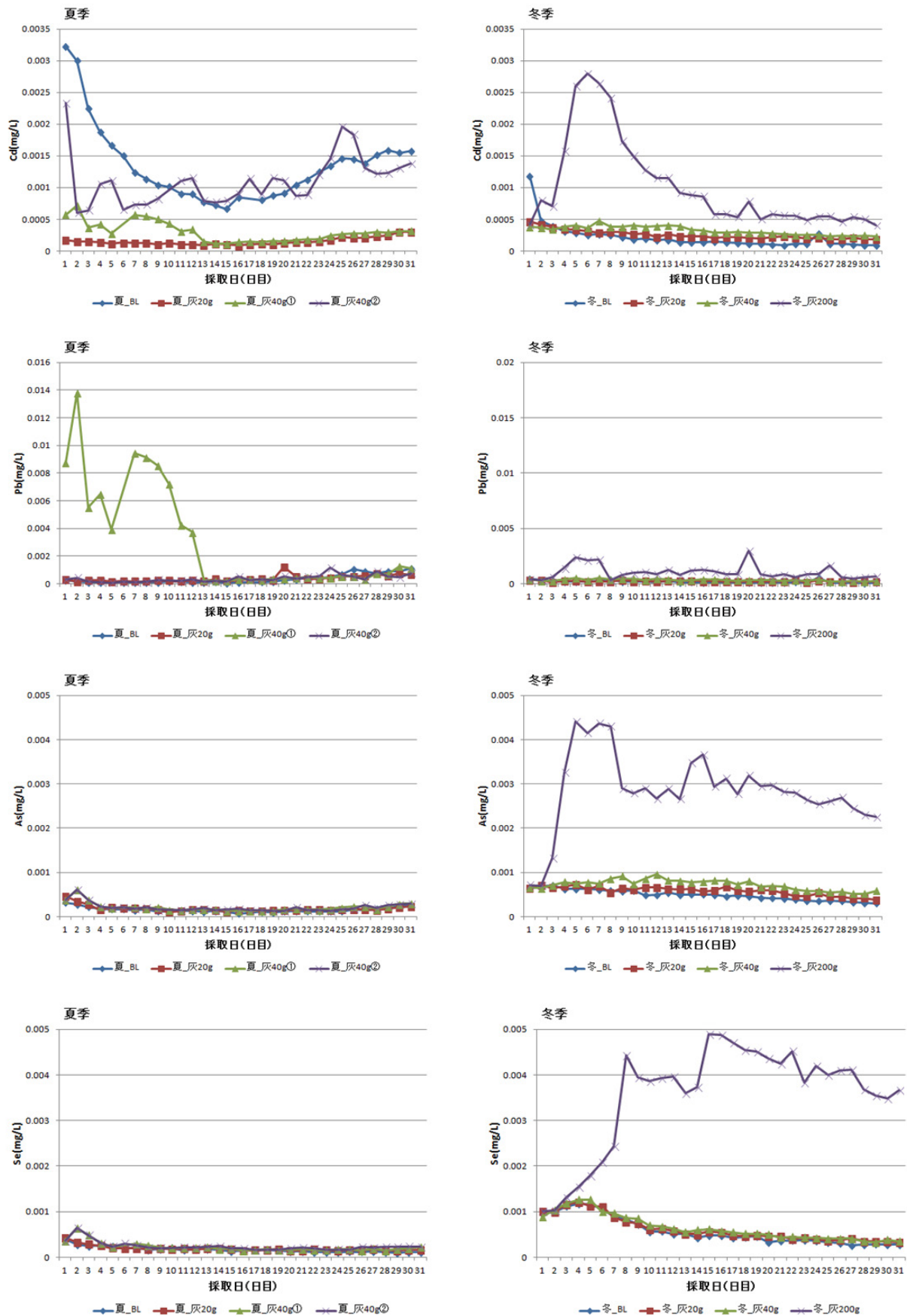


図 5-4 模擬斜面浸出水の金属成分の推移 (Cd, Pb, As, Se)

6. 5 イオン成分

6. 5. 1 塩化物イオン (Cl^-) (図7-1)

Cl^- は夏季冬季ともに、全ての灰散布斜面からの浸出水で同じ挙動を示し、開始後数日間は濃度が上昇し、その後低下している。BLでは開始間もなくから低下しており、また、灰200gでは他と比較して高い濃度となっていることから、上昇分は灰由来と考えられる。

6. 5. 2 硫酸イオン (SO_4^{2-}) (図7-1)

夏季の SO_4^{2-} は、BLでは緩やかに上昇した後に低下し、その他では緩やかに上昇を続けた。冬季では、BL、灰20g及び灰40gは全て上昇し、またその上昇幅は夏季の2.5倍程度であった。灰200gでは灰散布後から大きく上昇し始め、最高で11日目に535mg/Lに達した後低下した。

SO_4^{2-} はほぼ灰由来と考えるが、その溶出量が季節により異なったのは、季節による土壌中のイオンバランスの違いが影響していると考えられる。

6. 5. 3 硝酸イオン (NO_3^-) 及びアンモニウムイオン (NH_4^+) (図7-2)

夏季の NO_3^- は全てのサンプルで4mg/Lで開始し、10日目頃から急速に上昇し実験終了まで上昇は続き最終的に30~50mg/Lとなった。BLも灰散布分と同じ濃度で同様に上昇していたことから灰の影響ではないと考える。一方冬季の NO_3^- は夏季とは逆に、全てのサンプルで12mg/L程度で開始しその後低下を続け最終的に3mg/Lとなった。また、灰20g及び40gでは灰散布による影響は見られなかった。灰200gでは、開始直後の低下は見られず、灰散布後から5日間程は横ばいで推移した後に低下が開始した。灰溶出液において NO_3^- は53.8mg/L含まれており(表3)、この数日間の横ばい分が灰から供給されたものではないかと推測する。

NH_4^+ は、夏季では3mg/Lで開始し、なだらかに上昇した後20日目頃から横ばいもしくは低下傾向となった。BLは最高値が約6mg/Lと、灰散布斜面

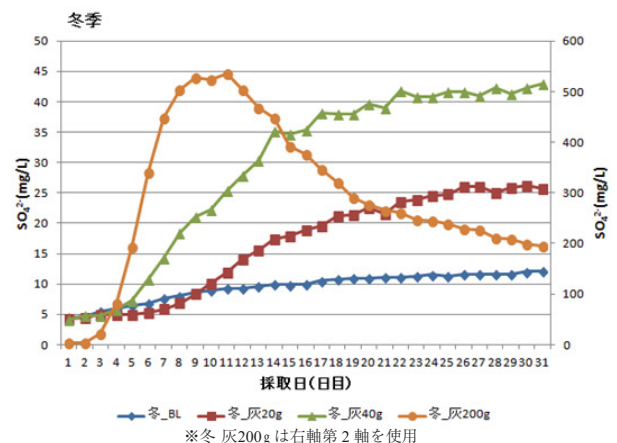
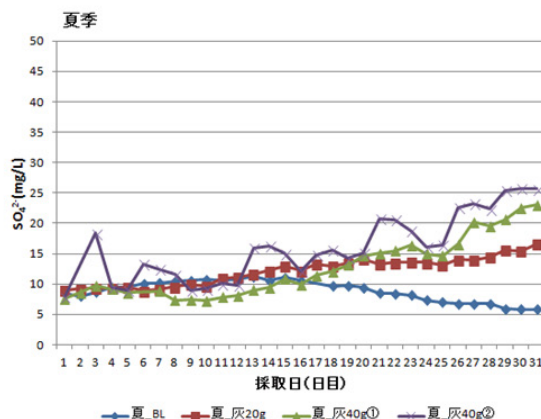
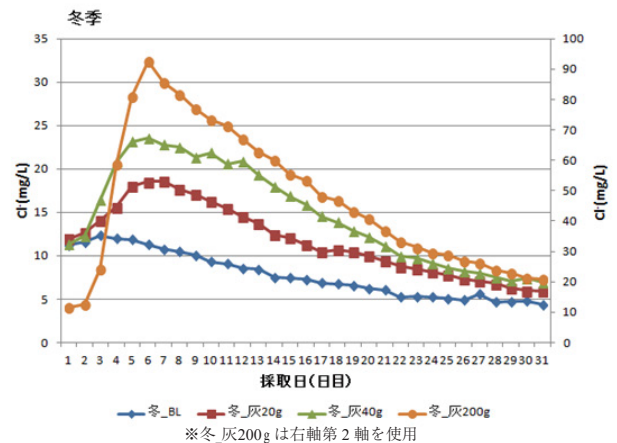
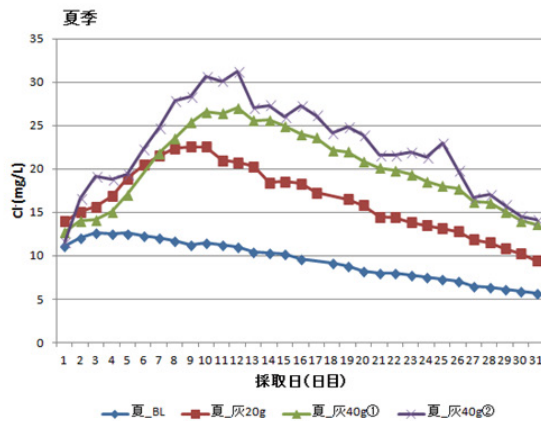


図7-1 模擬斜面浸出水のイオン成分の推移 (Cl^- , SO_4^{2-})

での最高値（約9～11mg/L）と比較して低く、またやや早めに低下が始まった。NH₄⁺は灰溶出液において10.6mg/Lとわずかなではあるが含まれており、上昇分は土壌からの溶出と灰からの供給と

考えられる。冬季のNH₄⁺は、BLは2～4 mg/Lとほぼ一定量の濃度を保ち、灰20gはゆるやかな上昇の後横ばい（約6 mg/L）となった。灰40gでは約10mg/Lまで、灰200gでは約20mg/Lまで上昇した後

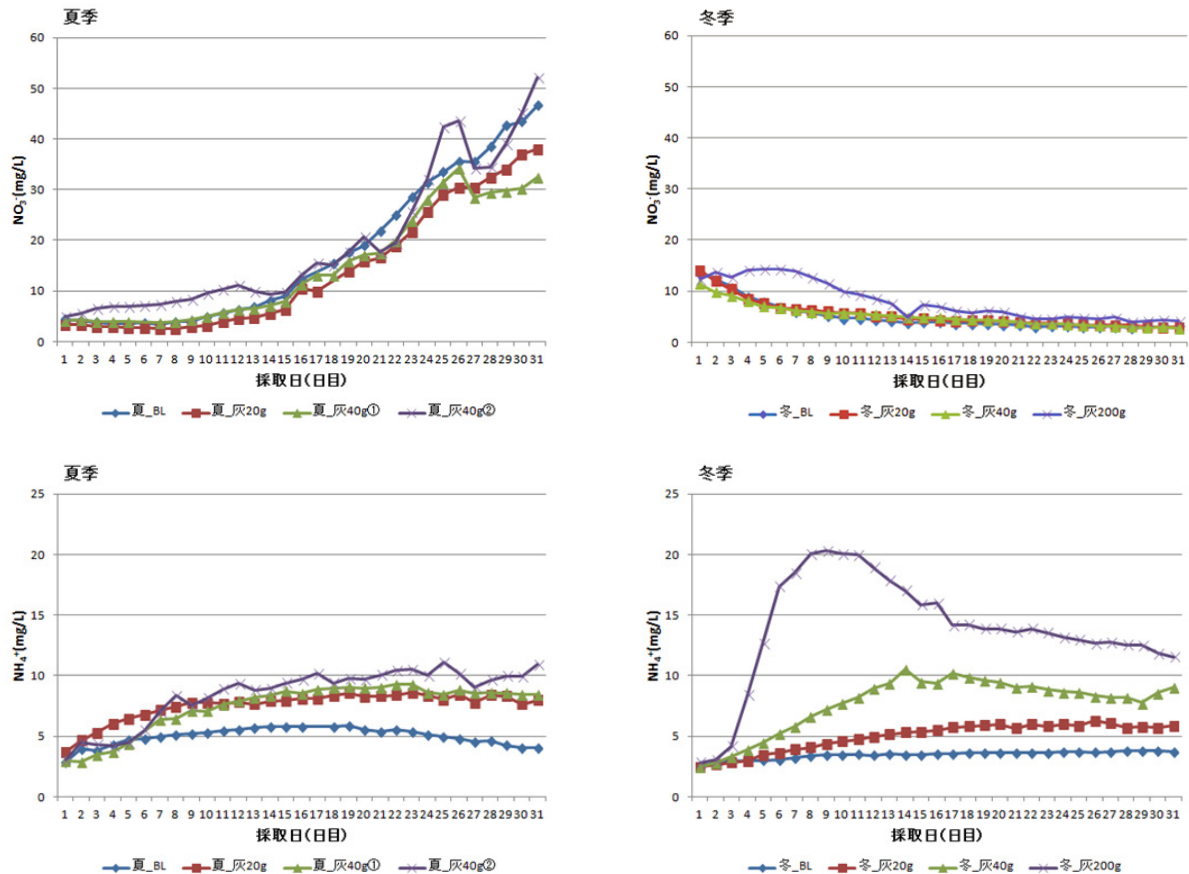


図7-2 模擬斜面浸出水のイオン成分の推移 (NO₃⁻, NH₄⁺)

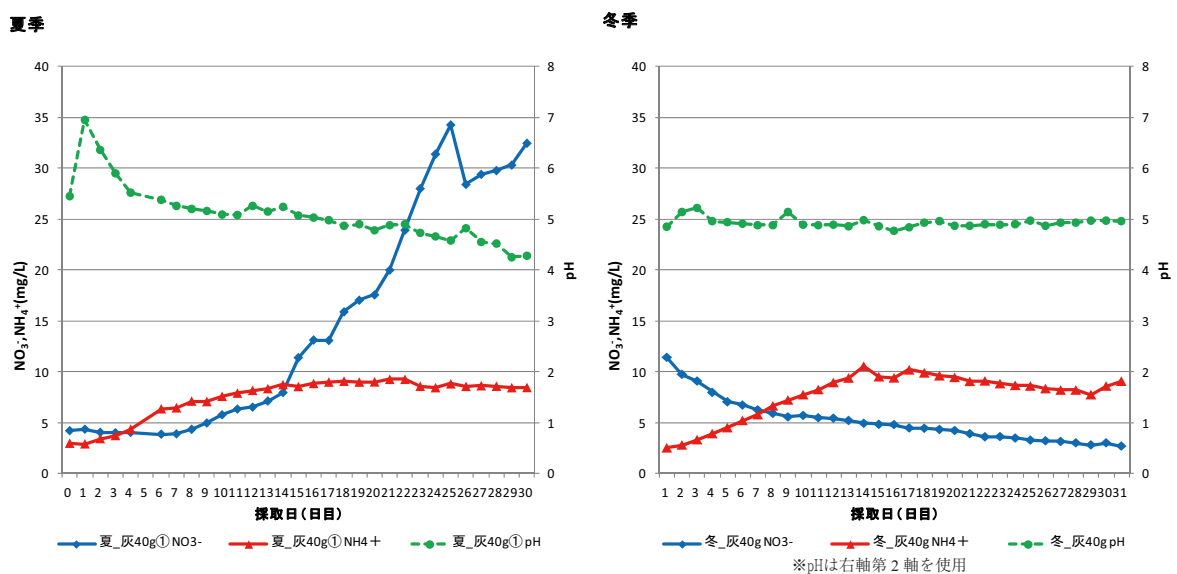
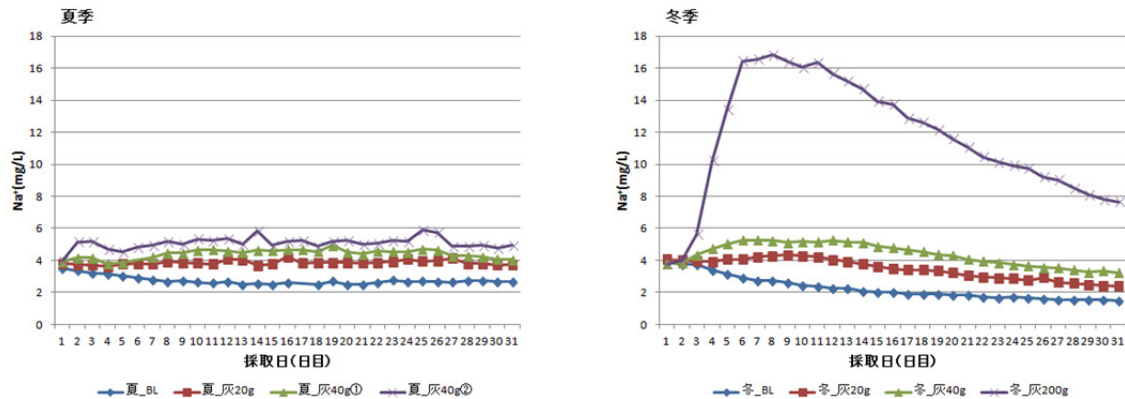


図8 NO₃⁻, NH₄⁺及びpHの推移 (灰40g (夏季及び冬季))

図7-3 模擬斜面浸出水のイオン成分の推移 (Na^+)

低下したが、これは灰からの供給が徐々に減少したのではないかと考える。

灰40g散布斜面を例に NO_3^- 、 NH_4^+ の動向について考察するため、図8に灰40g（夏季及び冬季）の NO_3^- 、 NH_4^+ 及びpHの推移を示す。灰40gでは NH_4^+ は夏季と冬季ではほぼ同様の推移を示し、 NO_3^- は夏季には大きく上昇、冬季には減少となっている。これらの動向にはアンモニア化成菌及び硝化菌が関係していると推測する。土壌中で有機態窒素は分解の過程でアンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$) になり、さらにアンモニア態窒素は亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$) を経て硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) となる。この $\text{NH}_4\text{-N}$ になる過程と $\text{NO}_3\text{-N}$ になる過程それぞれに細菌が関与しており、それらは一括して硝化菌と呼ばれている。夏季は、土壌からの溶出と灰からの供給で浸出水中 NH_4^+ は途中まで上昇していたが、硝化菌の増殖に伴い NH_4^+ は消費され NO_3^- となり、浸出水中 NO_3^- は途中から上昇したと考える。一方冬季は気温が低く、硝化菌の活動が低下していたことから NO_3^- は上昇せずに低下し続けたと推測する。

また、図8においてpHと NO_3^- の関係を見ると、夏季は NO_3^- の上昇とともにpHが低下し、冬季は NO_3^- が減少しpHは一定となっている。全てのサンプルにおいて確認された夏季のpHの低下傾向は、硝化菌による NO_3^- 生成の過程で放出される H^+ 等が一因であると考えられる。

6. 5. 4 ナトリウムイオン (Na^+) (図7-3)

夏季のBLでは、 Na^+ は散水開始当初から低下し、10日目からは一定濃度で推移した。灰20gは実験

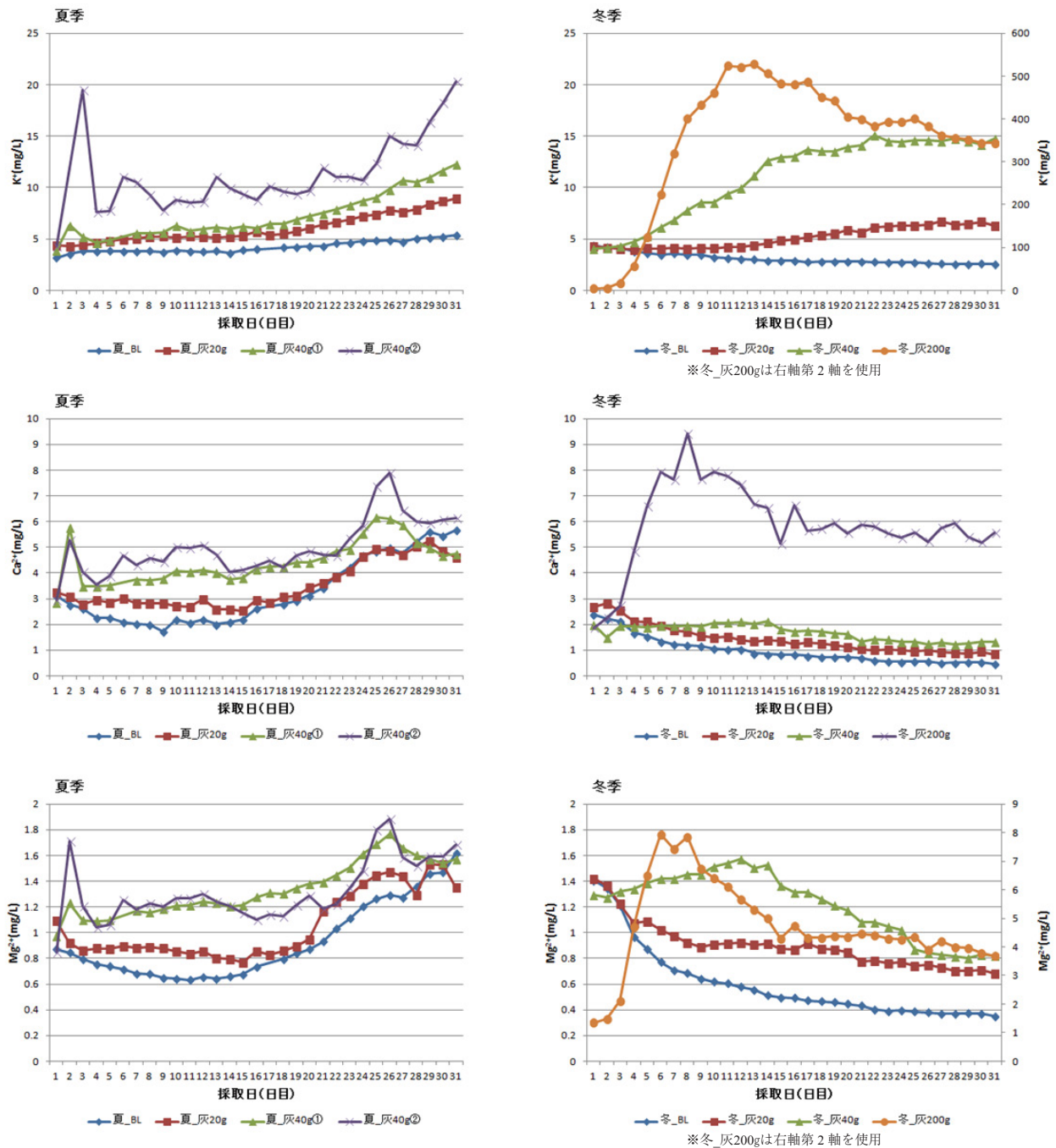
期間中はほぼ一定濃度で推移し、灰40gは少し上昇した後一定濃度で推移した。冬季はいずれの斜面でも10日目以降は低下し続けたが、BLは散水直後からすぐに低下し、灰散布斜面ではそれぞれの散布量に応じて上昇した後に低下した。 Na^+ は散水により土壌及び灰から洗い出されてくると考えられる。

6. 5. 5 カリウムイオン (K^+) (図7-4)

K^+ は夏季冬季ともに同様の挙動を示した。BLは一定濃度もしくはやや低下傾向で推移し、灰20g及び40gは散布量に応じて上昇した。灰200gでは他と比較して高い濃度となり、灰40gでは最高値で15mg/Lであったのに対し、灰200gでは500mg/Lを超える日もあった。また、灰200gでは11日目までは上昇し続けた後13日目以降は低下している。

一般的に土壌は陽イオンを保持する能力を有しており、その保持できる量（陽イオン交換容量）は土壌によって異なっている。交換性陽イオンとは、酢酸アンモニウム溶液で浸透し、交換されて溶出してくる陽イオンのことであり、これらが土壌に保持されていた交換性陽イオンである。土壌に保持されている K は交換性 K と呼ばれている⁷⁾。本実験の浸出水に含まれている K^+ は水溶性 K であり、土壌溶液中の他の陽イオンとの交換反応で放出された K 、及び灰から溶出して土壌の保持能力を超え保持されずに浸出してきた K である。灰200gでは、保持されずに浸出した K が多いため浸出水中濃度が高くなっている。

土壌中では交換性 K と水溶性 K は平衡を保ち、

図7-4 模擬斜面浸出水のイオン成分の推移 (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})

またKと他の交換性陽イオン (Ca や Mg) も拮抗関係を持っている。肥料等で土壌にKが施与された場合、土壌の水溶性Kの濃度が上がるため、平衡を維持しようとして水溶性Kと土壌に保持されていた Ca や Mg などと交換反応が起こり、その結果水溶性Kが交換性Kへ変化し、交換性Kが増加すると言われている⁷⁾。これらのバランスによって浸出水中 K^+ 濃度が変化したと考えられる。

6. 5. 6 カルシウムイオン (Ca^{2+}) 及びマグネシウムイオン (Mg^{2+}) (図7-4)

これら2つのイオンは似た挙動を示した。

夏季は、BL及び灰20gは当初低下し、15日前後から上昇に転じた。一方灰40gは当初より緩やかに上昇した。冬季は、BL及び灰20gは当初から下降し続け、灰40gは緩やかに上昇後、15日前後から低下に転じた。灰200gは8日目辺りで最高値

表5 実験終了後の土壌のpH及び交換性陽イオン

季節	散布量	上下	pH	交換性陽イオン(cmol/kg)		
				K	Ca	Mg
夏季	BL	上部	4.92	0.195	0.137	0.130
		下部	4.84	0.128	0.102	0.125
	灰20g	上部	4.85	0.264	0.152	0.129
		下部	4.77	0.447	0.160	0.140
	灰40g①	上部	4.86	0.492	0.207	0.141
		下部	4.83	0.603	0.235	0.142
	灰40g②	上部	4.86	0.666	0.367	0.158
		下部	4.92	1.087	0.617	0.236
冬季	BL	上部	4.97	0.060	0.055	0.116
		下部	4.90	0.046	0.043	0.125
	灰20g	上部	4.88	0.261	0.149	0.141
		下部	4.86	0.234	0.102	0.137
	灰40g	上部	5.09	0.878	1.391	0.275
		下部	5.01	0.586	0.508	0.201
	灰200g	上部	5.03	1.600	0.676	0.215
		下部	6.15	4.678	3.345	0.603

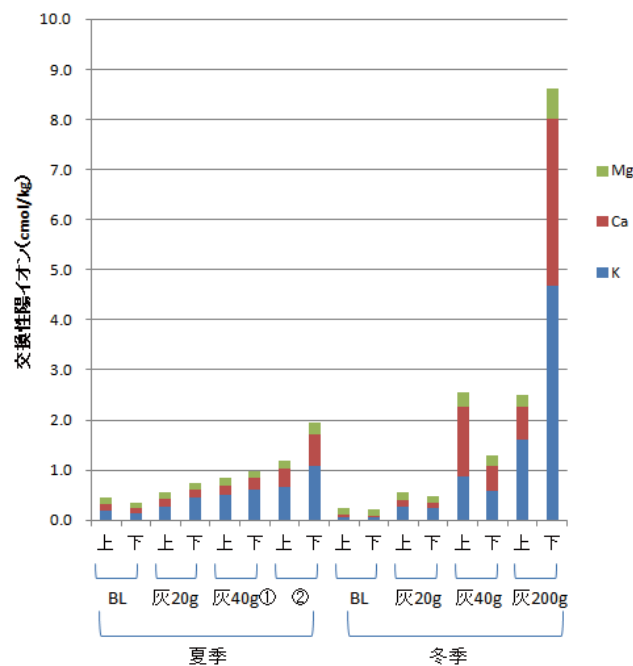


図9 実験終了後土壌の交換性陽イオン (K, Ca, Mg)

となった後緩やかに低下を続けた。

灰200g散布の模擬斜面からの浸出水中 Ca^{2+} 濃度の最高値(9.4mg/L)は、他の散布量のサンプルの最高値と比較して4倍程度であった。Caは、灰の組成では酸化物換算で約50%を占めていることから、最高値はさらに高くなることが予想されたが実際には高くならなかった。溶出液での Ca^{2+} 濃度は132mg/Lであり、灰中でCaよりは少ないものの

24%を占めているKの溶出液濃度(11800mg/L)と比較すると低かった(表3)。これは、灰中のKは水に溶けやすいのに対し、Caは水に溶けにくい炭酸カルシウムで存在していることに由来する。

夏季と冬季の違いについては、6.5.2で述べた季節による硝化菌の活動の違いにより、pHが異なったことが影響したのではないかと考える。また、冬季の牧草中のMg濃度が低いため反芻動

表6 実験実施時期及び灰散布量により影響を受けた測定項目

	pH,EC	重金属成分	イオン成分
夏季と冬季で挙動が同じもの		B	Cl^- , SO_4^{2-}
夏季と冬季で挙動が異なるもの	pH,EC	Al, Mn	NO_3^- , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}
灰散布(20,40g)による影響を受けないもの	pH		NO_3^-
灰散布(20,40g)による影響を受けるもの	EC	B, Al, Mn	Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}
灰大量散布による影響を受けないもの			
灰大量散布による影響を受けるもの	pH,EC	B, Al, Mn	Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}

物がMg欠乏による病気になることが知られており⁹⁾、冬季の土壌は水溶性Mgが少なく、そのため冬季に低下し続ける結果となった可能性がある。

前項で述べたとおり、土壌中K, Mg, Caはそれぞれが土壌に保持されつつ拮抗し合っているため、これらの濃度変化はお互いが影響しあっている。

7. 土壌分析結果及び考察(表5及び図9)

土壌pHは、冬季の灰40g及び灰200gで5.0以上であり、その他のサンプルでは5.0以下であった。

土壌の3つの交換性陽イオン(K, Ca, Mg)の合計は、夏季冬季ともに灰散布量に依存して増加した。また、交換性Kが占める割合が最も高かった。一方、冬季のBLでは交換性K及び交換性Caが夏季と比べて半分以下となっており、交換性Mgは夏季と変化がなかったためMgの割合が高い結果となった。冬季の灰20gでは斜面下部の交換性K及び交換性Caが夏季と比べて少し減少していた。冬季の灰40gでは上部下部共に交換性Caが夏季と比べて多くなっており、上部では全てのサンプルのうちCaがK, Mgと比較して多かった。土壌の酸性化は Ca^{2+} , Mg^{2+} などの溶脱等を引き起こすことが知られており、灰40gの斜面上部の土壌pHは5.09と、サンプル中pHが高い方であるため溶脱が他より起こりにくかったと考えられる。

6. 5. 6で述べたとおり浸出水中の Ca^{2+} 及び Mg^{2+} (水溶性Caと水溶性Mg)は、夏季においては減少または一定で推移した後上昇した。 Ca^{2+} 及び Mg^{2+} の上昇開始の時期と、硝化菌の活動による浸出水pHの低下開始の時期は一致しており、これらの変化はpH変化の影響を受けている。

土壌と浸出水の結果と併せて考えると、夏季の実験終了後土壌の交換性陽イオン合計量は斜面上

部より下部で多くなっており、最終的に上部で保持される陽イオンより、溶脱し下部まで流れていく陽イオンが多かったと推測する。一方冬季では灰200g以外で当初より水溶性Caと水溶性Mgが減少し続けた。冬季の交換性陽イオン合計量は、上部で下部より多くなっており、冬季は上部の土に多くの陽イオンが保持され、溶脱した陽イオンが少なかったと考える。冬季には硝化菌の活動がなく、浸出水のpHが5.0付近で推移しており、Ca, Mgの溶脱が起こりにくかったと推測する。

Kについては、CaやMgのようにpHの影響を受けておらず、灰20gや40g散布斜面の浸出水中の K^+ (水溶性K)は、夏季冬季共に上昇する傾向がある。交換性Kは、CaやMgと同様に夏季と冬季で上部と下部への保持が逆転しており、これは土壌中でKはCaやMgと拮抗関係があるため、それらイオンの影響を受けたと考える。

夏季と冬季、または灰散布量で交換性陽イオン量は異なるものの、灰散布により交換性陽イオンは増加しており、灰散布は森林への養分補給に活用できる。しかし、土壌pHによりその効果は大きく異なるため、その散布量や散布時期、方法の検討が必要となる。

8. まとめ

今回実験に使用した木質バイオマス燃焼灰は、CaとKが組成の大部分を占め、また溶出液には問題となる濃度の重金属は検出されなかった。灰中でCaは炭酸カルシウムで存在し、Kは水溶性の形態で存在していた。

斜面実験において、浸出水のpHは、夏季は全て低下し最終的に4.2付近となり、冬季は大量散布斜面以外では5.0付近を保って推移した。なお、大量散布斜面については後で述べる。実験終了後

の土壌pHは、夏季及び冬季のBL、及び灰20g散布斜面で違いはなかった。一方、灰40g散布の土壌pHは、夏季には変化はなかったが冬季にはわずかに上昇した。40gの散布量では、気温によっては土壌に影響を及ぼすと考える。

浸出水に溶出されてくる重金属及びイオン成分は、夏季と冬季で異なる挙動を示すものがあった。表6に実験実施季節及び灰散布量により影響を受けた測定項目を取りまとめた。実験条件のうち、夏季と冬季で大きく異なるものは気温と使用土壌の採取後経過時間である。これらにより土壌中の微生物の活動が夏季と冬季で異なり、主に NO_3^- 及び NH_4^+ の挙動へ、さらには H^+ (pH) へ影響を与えたと考える。また、pHの変化が Ca^{2+} 及び Mg^{2+} の挙動も変化させたと推測する。

灰散布は多くの項目へ影響を与えたが、 NO_3^- にはあまり影響を与えなかった。これは浸出水中 NO_3^- は灰から供給される以上に、灰もしくは土壌から供給された NH_4^+ が微生物により NO_3^- になったものが出てきているためと考える。夏季の NH_4^+ の結果を見ると、 NH_4^+ は灰から供給され灰の散布量に依存してその濃度は高くなるが、微生物の活動が律速段階となっているため NO_3^- 濃度は灰の影響を受けなかったと推測される。冬季の NO_3^- の結果において、全ての斜面からの浸出水でその濃度が低下し続けていることも、微生物の活動が NO_3^- の結果に影響しているためと考える。

灰散布により、肥料成分であるK、Ca及びMgの水溶性態での濃度や土壌中交換性陽イオンで存在している濃度は増加し、灰は肥料として活用できると考える。

しかし、灰大量投与は全ての項目を大きく変化させた。大量散布斜面からの浸出水のみ8日目で大きくpHが上昇し、以降8.0付近で推移した。実験終了後の土壌pHは大量散布斜面でのみ6.15と高くなった。浸出水中の重金属成分のうちAl及びMnは、pHの変化及び灰からの供給により植物に悪影響を及ぼすレベルとなっている。イオン成分についても K^+ や SO_4^{2-} は通常では暴露されないと考えられる濃度となっており、大量散布により土壌中のバランスが崩れる恐れもある。

灰散布は森林や畑地への肥料として活用できるが、季節や散布量によって土壌に与える影響が異

なるため、その適正量を守ることや、散布の時期や散布方法を工夫すること（山積みにはしない等）が必要である。

森林では、通常施肥等が行われることはなく、その養分は落葉等から補われており森林中で養分は循環している。しかし、今後木質バイオマス事業がさらに推進され、森林からの資源の持ち出しが増加した場合に、今までどおり森林内で循環している養分のみで森林が成長していけるかは不明である。このことから、森林から出た肥料成分（K、Ca等）が濃縮されている木質バイオマス燃焼灰を森林に戻すことを検討するのは重要である。実際に戻すにはその方法や人員などに問題があるため簡単にはできないと聞く。しかし、実地試験などを行うことで、実現に向け少しずつ準備をしていくことが今後必要ではないだろうか。

謝辞

この研究を行うにあたり、土壌の採取及び分析等にご協力くださった高知県森林技術センター及び高知県農業技術センターに感謝申し上げます。

最後に、木質バイオマス燃焼灰の研究にご協力くださると共に、本論文にご助言をくださいました高知大学農林海洋科学部岩崎貢三教授、同大学理工学部附属水熱化学実験所所長柳沢和道教授に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 平成29年度第1回高知県木質バイオマスエネルギー利用推進協議会資料
- 2) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部産業廃棄物課長通知、平成25年6月28日付け環廃産業発第1306282号
- 3) 十川紘一、山村貞雄：木質ペレット燃焼灰を適正かつ安全に有効利用するための調査研究、高知県環境研究センター所報、26、17-23、2009
- 4) 柳沢和道：バイオマス焼却灰の再資源化、海洋性藻類を中心とした地域バイオマスリファイナリーの実現に向けた新技術の創出報告書（2016年度）
- 5) 北海道立総合研究機構農業研究本部：土壌・作物栄養診断のための分析法2012、64、2012

- 6) Ross O. Nable et al. : Boron toxicity, Plant and Soil, 193, 181-198, 1998
- 7) 松中照夫：土壌学の基礎，社団法人 農山漁村文化協会，2003
- 8) 牧野知之：土壌中におけるマンガンの酸化還元機能と動態，農業環境技術研究所報告，20, 107-161, 2001
- 9) 篠崎謙一ら：反芻動物の低マグネシウム血症に関する実験的研究，Jap. J. Vet. Sci, 40, 407-414, 1978

高知県における酸性雨調査（第16報） 本県の大気中の粒子状物質，ガス状物質濃度の特徴について （2006年度から2015年度）

尾崎吉純・池田里美・西 孝仁・武市佳子・坂本武大*・富田健介**・山下 浩***

Acid deposition study of Kochi Prefecture (16th) The trend of dry deposition in Kochi prefecture (from 2006 to 2015)

Yoshizumi Ozaki, Satomi Ikeda, Takahito Nishi, Yoshiko Takechi
Takehiro Sakamoto, Kensuke Tomita, Hiroshi Yamashita

【要旨】 2006年度から2015年度における梲原測定所（以下「梲原」という.），香北測定局（以下「香北」という.）の大気中の粒子状物質，ガス状物質濃度の特徴についてまとめた.

大気中の粒子状物質中のイオン成分濃度について， nss-SO_4^{2-} 濃度の年平均値は，梲原，香北ともに，全国と比較して高い値で推移していた. また， nss-SO_4^{2-} ， NH_4^+ 濃度は，梲原，香北間で相互に強い相関を示したことから，梲原，香北では，黄砂等の広域的な影響を受けていることが考えられる.

大気中のガス状物質濃度について，梲原の SO_2 ， HNO_3 濃度の年平均値は，全国と同程度で推移していたが，梲原の HCl ， NH_3 濃度，2012年度以降の HNO_3 濃度を除く香北のガス状物質濃度の年平均値は，低い値で推移していた. 梲原では， SO_2 － HCl 濃度でやや強い相関を示した. 冬季に HCl 濃度が高かったことから，瀬戸内側の発生源の影響を受けていることも考えられる.

全硫酸，全硝酸，全塩化物，全アンモニアの粒子化率の特徴について，全硫酸では夏季に高く，冬季に低い傾向を示し，全硝酸，全アンモニアでは夏季に低く，冬季に高い傾向を示した.

Key words：フィルターパック，乾性沈着，粒子状物質，ガス状物質

1. はじめに

酸性雨については，1960年代に欧米において湖沼の酸性化及び森林被害が国際問題となり，1970年代には日本でも湿性大気汚染が問題となった¹⁾.

本県では，高岡郡梲原町に設置された国設酸性雨測定所で1999年から測定を行っており，現在は東アジア酸性雨モニタリングネットワークに参加している. また，本県が香美市香北町に設置した測定局では1983年から測定を行っており，2015年度まで全国環境研協議会が行っている酸性雨全国調査に加わっていた.

梲原測定所（以下「梲原」という.）及び香北

測定局（以下「香北」という.）では，降水試料の採取，フィルターパック法による粒子状及びガス状物質の捕集を行い，香北では，それらに加えてパッシブ法によるガス状物質の捕集も行っている.

この度，2006年度から2015年度までのフィルターパック法の調査結果から，梲原及び香北の大気中の粒子状物質濃度，ガス状物質濃度の特徴についてまとめたので報告する.

2. 調査方法

調査方法は，環境省が国設酸性雨測定所での調査を受託している機関に示した「フィルターパッ

* 現幡多福祉保健所 ** 現須崎福祉保健所 *** 現環境対策課

ク法測定手順書」及び全国環境研協議会・酸性雨広域大気汚染調査研究部会が示した「酸性雨全国調査実施要領」に基づいた。

2. 1 調査地点

フィルターパック法による調査は，図1に示す測定地点に設置している捕集装置で行った。

梼原は，高岡郡梼原町太郎川に位置し，県中央部から西北西へ約50kmの距離にある。本測定所は四万十川の源流域にあり，周辺はほぼ山林である。測定所の周辺150m以内には，テレビや電話のアンテナが複数設置されている。固定発生源として，測定所の5km北西に年間排出量SO₂約4t，NO₂約0.5tの乾燥炉があるが，その他周辺10km以内に大きな発生源はない。

梼原の気象は，2006年度から2015年度までの年

平均気温は11.8℃，年間をとおして北または北北西の風が多く吹いているが，2014年度及び2015年度は，例年と比較して南南東の風が多く観測された。また，年間降水量は平均2,820mmである。

一方，香北は，香美市香北町永瀬に位置する永瀬ダム管理事務所の屋上に設置しており，県中央部から北東へ約30kmの距離にある。物部川中流域にあり，山林に囲まれている。固定発生源として，測定局の10km南西に年間排出量SO₂約4t，NO₂約0.6tの温水プールがあるが，その他周辺10km以内に大きな発生源はない。

香北では，気温と風向風速の測定を行っていないため，最寄りの気象官署（大栃）の気象データ²⁾となるが，2006年度から2015年度までの年平均気温は15.3℃，年間をとおして北東の風が多く吹いている。また，年間降水量は平均2,866mmである。

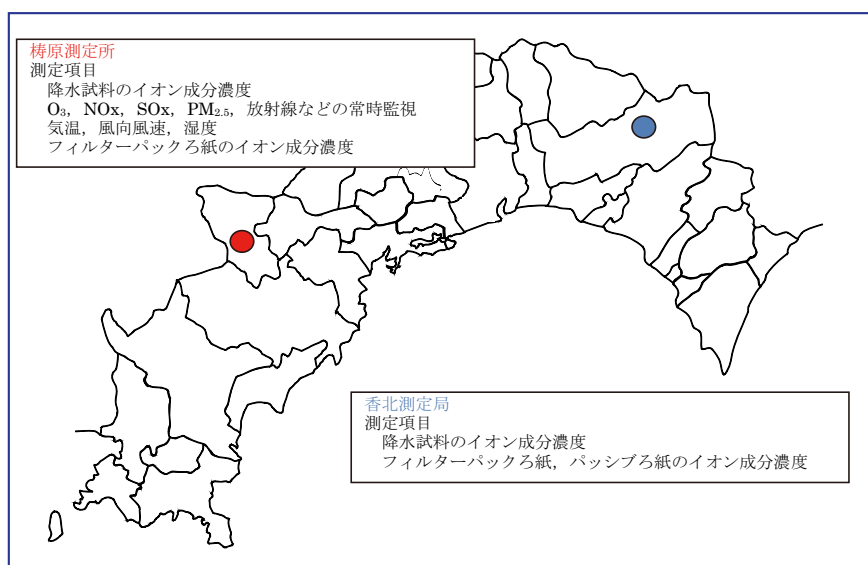


図1 調査地点

2. 2 試料採取方法

フィルターパック法により，粒子状物質，ガス状物質の捕集を行った。捕集のために使用したろ紙の種類及び捕集成分は表1のとおりである。

試料採取後は，F₀, F₁, F₃ろ紙は20mLの超純水で，F₂ろ紙は0.03% H₂O₂溶液20mLでそれぞれ30min振とうを行い，イオン成分を抽出した。

表1 ろ紙の種類及び捕集成分

ろ紙	種 類	捕集成分
F ₀	PTFEろ紙	粒子状物質
F ₁	ポリアミドロ紙	ガス状物質 (SO ₂ , HNO ₃ , HCl, NH ₃)
F ₂	6% K ₂ CO ₃ , 2%グリセリン含浸セルロースろ紙	ガス状物質 (SO ₂ , HCl)
F ₃	5%リン酸, 2%グリセリン含浸セルロースろ紙	ガス状物質 (NH ₃)

2. 2. 1 梶原

1 段目F₀ろ紙, 2 段目F₁ろ紙, 3 段目F₂ろ紙, 4 段目F₃ろ紙を配置した 4 段ろ紙法により調査を行った. 試料大気は, 毎分 1 L の流量で捕集し, 採取期間は 2 週間とした.

2. 2. 2 香北

2007年度までは梶原と同様に 4 段ろ紙法により調査を行っていたが, 2008年度からは 1 段目F₀ろ紙, 2 段目F₁ろ紙, 3 段目F₂ろ紙, 4 段目F₂ろ紙, 5 段目F₃ろ紙を配置した 5 段ろ紙法により調査を

行った. 試料大気は, 2012年 6 月11日までは毎分 1 L, 2012年11月20日からは毎分 2 L の流量で捕集し, 採取期間は 1 週間または 2 週間とした.

2. 3 調査期間

調査期間は, 梶原では2006年 3 月29日から2016年 4 月 4 日まで, 香北では2006年 3 月27日から2016年 4 月 4 日までの10年間とした.

試料の採取期間及び欠測期間を表 2 に示す. なお, 赤字で示した期間については, NH₃ ガスについて欠測である.

表 2 試料採取期間及び欠測期間

年度	粒子状物質							
	梶 原				香 北			
	採 取 期 間		欠 測 期 間		採 取 期 間		欠 測 期 間	
	開始日	終了日	開始日	終了日	開始日	終了日	開始日	終了日
2006	2006/3/29	2007/3/28			2006/3/27	2007/3/26	2006/7/31	2006/8/7
							2006/12/25	2007/1/9
							2007/3/12	2007/3/26
2007	2007/3/28	2008/3/31			2007/3/26	2008/3/31		
2008	2008/3/31	2009/3/30	2008/10/27	2009/1/5	2008/3/31	2009/3/31	2008/4/14	2008/4/28
2009	2009/3/30	2010/3/29			2009/3/31	2010/3/29		
2010	2010/3/29	2011/3/28			2010/3/29	2011/3/28		
2011	2011/3/28	2012/3/26			2011/3/28	2012/3/26	2011/11/21	2011/12/5
							2012/1/30	2012/2/13
2012	2012/3/26	2013/3/25	2012/3/26	2012/4/23	2012/3/26	2013/3/25	2012/6/11	2012/11/20
2013	2013/3/25	2014/4/7			2013/3/25	2014/4/7	2013/7/29	2013/11/5
							2013/11/18	2013/12/2
2014	2014/4/7	2015/4/6	2015/3/9	2015/3/23	2014/4/7	2015/4/7	2014/10/20	2014/11/4
2015	2015/4/6	2016/4/4			2015/4/7	2016/4/4	2016/1/12	2016/1/25

年度	ガス状物質							
	梶 原				香 北			
	採 取 期 間		欠 測 期 間		採 取 期 間		欠 測 期 間	
	開始日	終了日	開始日	終了日	開始日	終了日	開始日	終了日
2006	2006/3/29	2007/3/28			2006/3/27	2007/3/26	2006/7/31	2006/8/7
							2006/12/25	2007/1/9
							2007/3/12	2007/3/26
2007	2007/3/28	2008/3/31			2007/3/26	2008/3/31		
2008	2008/3/31	2009/3/30	2008/10/27	2009/1/5	2008/3/31	2009/3/31	2008/4/14	2008/4/28
2009	2009/3/30	2010/3/29			2009/3/31	2010/3/29		
2010	2010/3/29	2011/3/28			2010/3/29	2011/3/28	2010/4/26	2010/5/10
							2010/6/21	2010/7/5
							2010/8/30	2010/9/27
							2010/12/6	2011/1/4
2011	2011/3/28	2012/3/26			2011/3/28	2012/3/26	2011/11/21	2011/12/5
							2012/1/30	2012/2/13
2012	2012/3/26	2013/3/25	2012/3/26	2012/4/23	2012/3/26	2013/3/25	2012/6/11	2012/11/20
2013	2013/3/25	2014/4/7			2013/3/25	2014/4/7	2013/7/29	2013/11/5
							2013/11/18	2013/12/2
2014	2014/4/7	2015/4/6	2015/3/9	2015/3/23	2014/4/7	2015/4/7	2014/10/20	2014/11/4
2015	2015/4/6	2016/4/4			2015/4/7	2016/4/4	2015/8/10	2015/9/7
							2016/1/12	2016/1/25

2. 4 調査項目及び分析方法

調査項目は、イオン成分濃度（ Na^+ ， NH_4^+ ， K^+ ， Ca^{2+} ， Mg^{2+} ， SO_4^{2-} ， NO_3^- ， Cl^- ）とした。また、 SO_4^{2-} ， Ca^{2+} については、 Na^+ 濃度から算出した海塩割合分を除いた非海塩由来濃度（ nss-SO_4^{2-} ， nss-Ca^{2+} ）を算出した。イオン成分濃度は、イオンクロマトグラフ法（ICS-90（ダイオネクス製））で分析を行った。

抽出液中のイオン成分量を期間中に採取した大気量で除して、大気中の濃度を算出した。 F_0 ろ紙から抽出されたイオン成分量から粒子状物質中のイオン成分濃度を、 F_1 及び F_2 ， F_3 ろ紙から抽出されたイオン成分量からガス状物質濃度を算出した。

なお、香北で採取された試料の分析は当センターで行っているが、梶原で採取された試料の分析は環境省の委託先で行っており、その結果については、環境省に測定データ公表申請を行い、公表承諾を受けたデータを用いている。

3. 結果及び考察

3. 1 大気中の粒子状物質中のイオン成分濃度の特徴

3. 1. 1 年平均値

大気中の粒子状物質中の nss-SO_4^{2-} ， NO_3^- ， Cl^- ， NH_4^+ ， nss-Ca^{2+} 濃度の年平均値を図2に示す。

nss-SO_4^{2-} 濃度をみると、梶原では、 36.9 nmol m^{-3} から 63.0 nmol m^{-3} の範囲で推移しており、全体としては減少傾向にあった。香北では、 40.0 nmol m^{-3} から 53.0 nmol m^{-3} の範囲で全体として変化はみられなかった。一方、 NO_3^- 濃度は、梶原では 8.4 nmol m^{-3} から 11.2 nmol m^{-3} の範囲で推移しており大きな変化はみられなかった。香北では、 6.3 nmol m^{-3} から 11.2 nmol m^{-3} の範囲で2013年度以降は低い値で推移していた。 Cl^- 濃度は、梶原では 1.0 nmol m^{-3} から 6.6 nmol m^{-3} ，香北では 1.4 nmol m^{-3} から 2.9 nmol m^{-3} の範囲で推移していた。特に、梶原では2009年度の Cl^- 濃度が高かったが、8月下旬から9月上旬にかけて台風が2回本県に接近し、この期間の Cl^- 濃度が非常に高かったことから、その影響を受けたものと考えられる³⁾。2009年度は酸性雨全国調査の Cl^- 濃度の中央値も高い値を示しており、他地域でも台風等の影響が大きかったこ

とが考えられる。

NH_4^+ 濃度は、梶原は 49.2 nmol m^{-3} から 76.9 nmol m^{-3} ，香北は 54.0 nmol m^{-3} から 80.6 nmol m^{-3} の範囲で推移していた。一方、 nss-Ca^{2+} 濃度は、梶原では、 2.8 nmol m^{-3} から 9.1 nmol m^{-3} の範囲で推移しており、2013年度から減少していた。2009年度の年平均値は、他の年度と比較して高い値を示したが、これは4月13日から4月27日にかけて大気中濃度が 71.5 nmol m^{-3} と非常に高い値を示したことによるものである。このとき黄砂は観測されておらず⁴⁾，他のイオン成分では大きな変化はなかったことから、 nss-Ca^{2+} 濃度を上昇させる原因は特定できなかった。香北では 3.3 nmol m^{-3} から 15.5 nmol m^{-3} の範囲で、2012年度を除いて濃度に大きな変化はなかった。2012年度の nss-Ca^{2+} 濃度は、永瀬ダム管理事務所の耐震化工事の影響により特異的に高くなったと考えられる⁵⁾。

全国環境研協議会が行っている酸性雨全国調査での全国中央値（2006年度から2014年度）^{6) 7) 8) 9)}と比較すると、梶原、香北ともに、 nss-SO_4^{2-} 濃度は高い値で推移している。酸性雨全国調査での地域区分において、本県の属する「西部」は、アジア大陸の汚染大気の流れの影響を受けていると考えられ、全国的にみて nss-SO_4^{2-} 濃度が高い傾向にある⁶⁾。一方で、 NO_3^- ， Cl^- 濃度は低い値で推移している。 NO_3^- 濃度については、都市に近い酸性雨測定局等と比較して発生源の影響が少ないこと、 Cl^- 濃度については、海沿いに立地している他の酸性雨測定局と比較して、梶原、香北ともにやや海から距離が離れていることから、海塩の影響がより少ないことが考えられる。

大気中の NH_4^+ 濃度は、梶原、香北ともに中央値と大きな濃度差がなく推移している。また、 nss-Ca^{2+} 濃度については、梶原では2011年度以降、香北では2012年度以外はいずれも低い値で推移している。

3. 1. 2 月平均値

大気中の粒子状物質中の nss-SO_4^{2-} ， NO_3^- ， Cl^- ， NH_4^+ ， nss-Ca^{2+} 濃度の月平均値を箱ひげ図で図3に示す。

nss-SO_4^{2-} 濃度の中央値は、梶原、香北ともに5月が最も高く、それぞれ 67.0 ， 61.1 nmol m^{-3} であつ

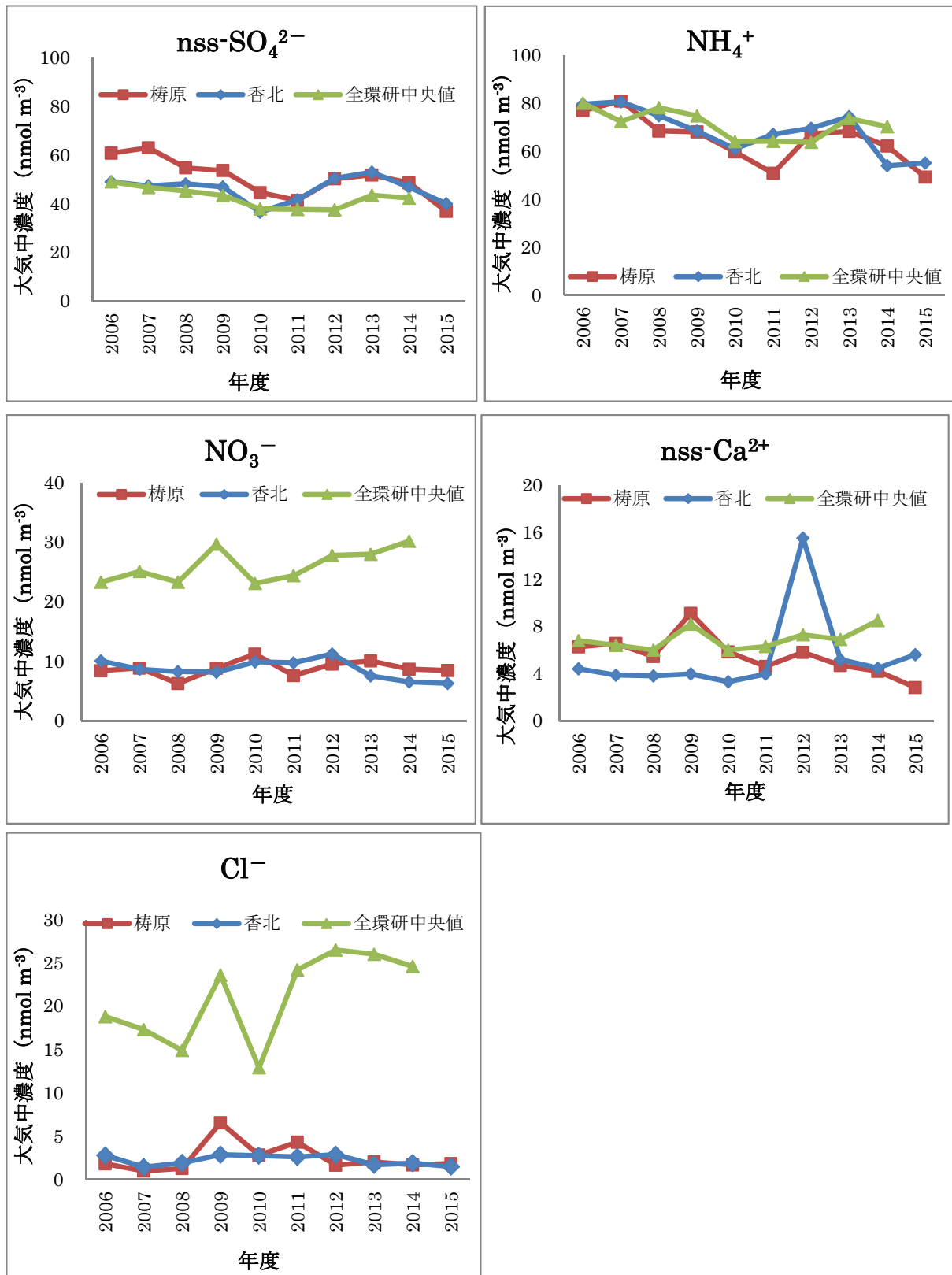


図2 粒子状物質中のイオン成分濃度の年平均値

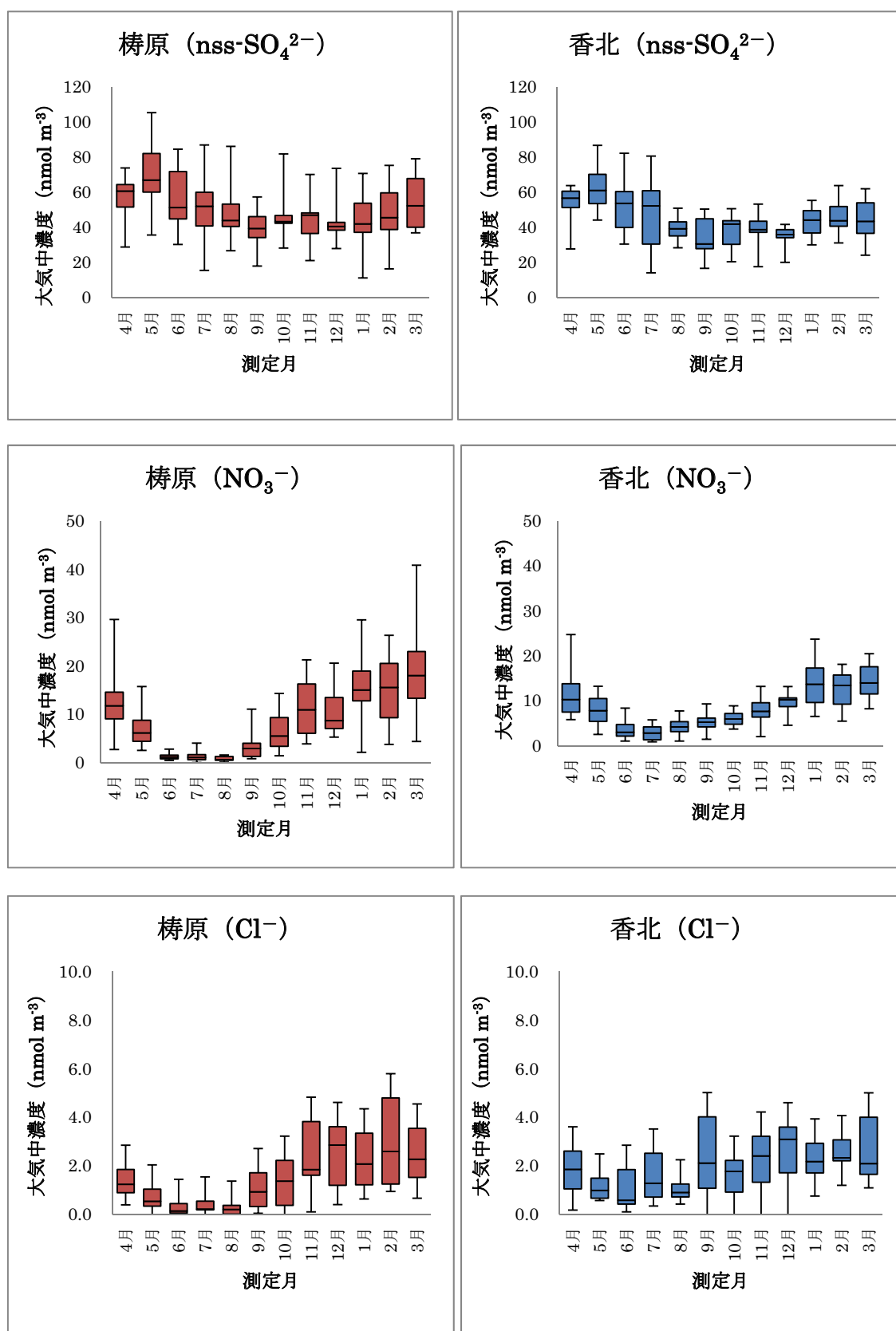


図3 粒子状物質中のイオン成分濃度の月平均値

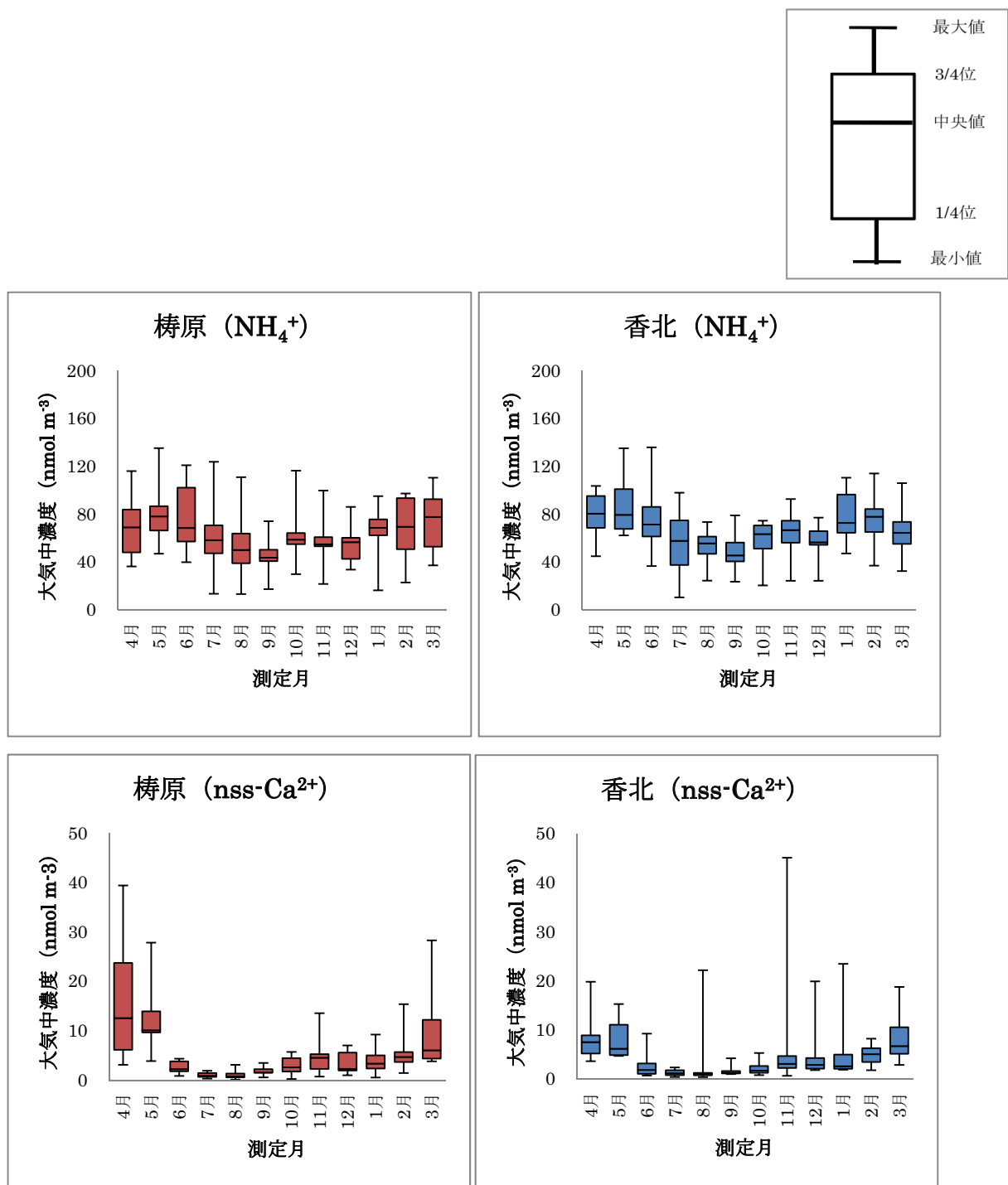


図3 粒子状物質中のイオン成分濃度の月平均値

た。また、梲原、香北ともに4月と5月に濃度が高く、黄砂が主に飛来する時期とも重なっている。一方、濃度が最も低かった月は、梲原、香北ともに9月で、それぞれ39.5、30.6 nmol m⁻³であった。

NO₃⁻濃度の中央値は、梲原、香北ともに3月が最も高く、それぞれ18.0、14.0 nmol m⁻³であり、1月から4月にかけて高かった。特に梲原では、1月から4月にかけてNO₃⁻濃度が大きく変化していた。この期間でNO₃⁻濃度と最も相関係数が高かったのはMg²⁺濃度であった。Mg(NO₃)₂として大気中に存在していたと仮定すると、直接の排出源としては、肥料、医薬品原料などが考えられるが、測定所周辺では要因を特定できなかった。一方、濃度が最も低かった月は、梲原は8月、香北は7月で、それぞれ0.6、2.8 nmol m⁻³であった。夏季に濃度が低いのは、NH₄NO₃などの揮発性粒子がガス化するなどの影響が考えられる。

Cl⁻濃度の中央値は、梲原、香北ともに12月が最も高く、それぞれ2.9、3.1 nmol m⁻³であった。一方、濃度が最も低かった月は6月であり、それぞれ0.2、0.6 nmol m⁻³であった。降水量は、梲原、香北ともに6月が最も多く、12月が最も少ないことから降雨の影響も考えられる。

NH₄⁺濃度の中央値は、梲原では5月、香北では4月が最も高く、それぞれ78.1、80.4 nmol m⁻³であった。梲原、香北ともに3月から5月にかけて濃度が高かった。一方、最も濃度が低いのは、梲原、香北ともに9月で、それぞれ43.7、45.5 nmol m⁻³であった。

nss-Ca²⁺濃度の中央値は、梲原、香北ともに4月が最も高く、それぞれ12.6、7.6 nmol m⁻³であった。梲原、香北ともに、濃度が高い時期は3月から5月で、黄砂の観測時期とよく対応しており、黄砂の飛来の影響を受けて高くなったと考えられる⁶⁾。一方、濃度が最も低い月は、梲原、香北ともに8月で、それぞれ0.8、1.1 nmol m⁻³であった。

酸性雨全国調査で本県が属する「西部」の地域区分と梲原、香北のnss-SO₄²⁻、NO₃⁻、Cl⁻、NH₄⁺、nss-Ca²⁺濃度の月平均値の特徴を比較した^{6) 7) 8) 9)}

10) 11) 12) 13)

nss-SO₄²⁻濃度の特徴は、「西部」では主に春季に高い傾向を示し、梲原、香北でも同じ傾向を示した。NO₃⁻濃度は、「西部」では主に春季、年度に

よっては冬季も高く、夏季に低い傾向にあった。梲原、香北では、主に冬季に濃度が高く、夏季に低かったことから、やや傾向が異なっていた。Cl⁻濃度は、「西部」では秋季から冬季に高い傾向が一部の年度でみられた。梲原では、同様に冬季の濃度が高かったが、香北では梲原と比較すると季節変動が大きくなかった。NH₄⁺濃度は、「西部」ではnss-SO₄²⁻濃度と類似した傾向を示すことが多かった。これは梲原、香北でも同じ傾向であった。nss-Ca²⁺濃度は、「西部」では春季に高く、NH₄⁺濃度と同様の傾向を示すこともあった。梲原、香北でも春季にnss-Ca²⁺濃度が高く、同様の傾向を示した。

3. 1. 3 相関関係

梲原、香北及び梲原－香北間の粒子状物質中のイオン成分濃度の相関関係を表3から表5に示す。相関係数を算出するにあたっては、スミルノフ・グラブズ検定を行い、5%水準での外れ値を除外した。

梲原、香北ともにnss-SO₄²⁻－NH₄⁺濃度で強い相関を、Mg²⁺－nss-Ca²⁺濃度でやや強い相関を示した（表3、表4）。いずれのイオン成分も黄砂等の広域的な影響も考えられ、Mg²⁺とnss-Ca²⁺濃度については土壌の巻上げの影響も考えられる¹⁴⁾。NO₃⁻濃度も黄砂等の影響を受ける成分と考えられる¹⁵⁾が、他のイオン成分と強い相関を示さなかった。

梲原－香北間のイオン成分濃度の相関関係をみると、同一成分ではnss-SO₄²⁻濃度で強い相関が、NO₃⁻、NH₄⁺、nss-Ca²⁺、Mg²⁺濃度でやや強い相関がみられ、異なる成分ではnss-SO₄²⁻－NH₄⁺濃度で相互にやや強い相関を示した（表5）。このことから、nss-SO₄²⁻、NH₄⁺濃度は、梲原、香北の両地点にまたがった影響を受けていると考えられる。

3. 2 大気中のガス状物質濃度の特徴

3. 2. 1 年平均値

大気中のガス状物質濃度の年平均値を図4に示す。

SO₂濃度は、梲原では17.6 nmol m⁻³から41.3 nmol m⁻³の範囲にあり、2014年度から減少に転じ、香北では8.9 nmol m⁻³から23.6 nmol m⁻³の範囲にあり、大きな変化はみられなかった。

表3 梶原の粒子状物質中のイオン成分濃度の相関関係 (n=231)

	nss-SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	nss-Ca ²⁺	Mg ²⁺
nss-SO ₄ ²⁻	1.00							
NO ₃ ⁻	0.11	1.00						
Cl ⁻	-0.15	0.64	1.00					
NH ₄ ⁺	0.95	0.23	-0.09	1.00				
Na ⁺	0.27	0.53	0.48	0.23	1.00			
K ⁺	0.57	0.39	0.12	0.59	0.32	1.00		
nss-Ca ²⁺	0.45	0.53	0.24	0.41	0.36	0.44	1.00	
Mg ²⁺	0.54	0.58	0.37	0.48	0.76	0.50	0.78	1.00

注 青字 : $0.8 \leq r$, 赤字 : $0.6 \leq r < 0.8$ (表4, 表5も同様)

表4 香北の粒子状物質中のイオン成分濃度の相関関係 (n=239)

	nss-SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	nss-Ca ²⁺	Mg ²⁺
nss-SO ₄ ²⁻	1.00							
NO ₃ ⁻	0.11	1.00						
Cl ⁻	-0.20	0.48	1.00					
NH ₄ ⁺	0.83	0.31	-0.08	1.00				
Na ⁺	0.17	0.33	0.39	0.05	1.00			
K ⁺	0.58	0.30	0.00	0.58	0.28	1.00		
nss-Ca ²⁺	0.37	0.52	0.10	0.32	0.30	0.44	1.00	
Mg ²⁺	0.35	0.55	0.30	0.24	0.64	0.43	0.76	1.00

表5 梶原, 香北の粒子状物質中のイオン成分濃度の相関関係 (n=182)

梶原 \ 香北	nss-SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	nss-Ca ²⁺	Mg ²⁺
nss-SO ₄ ²⁻	0.84	0.11	-0.14	0.72	0.12	0.48	0.37	0.26
NO ₃ ⁻	0.05	0.72	0.27	0.19	0.32	0.22	0.52	0.46
Cl ⁻	-0.13	0.45	0.35	-0.01	0.27	0.00	0.23	0.23
NH ₄ ⁺	0.80	0.23	-0.11	0.74	0.09	0.51	0.36	0.26
Na ⁺	0.14	0.50	0.39	0.20	0.62	0.19	0.34	0.43
K ⁺	0.37	0.26	0.01	0.41	0.16	0.39	0.32	0.27
nss-Ca ²⁺	0.32	0.40	0.00	0.30	0.18	0.24	0.77	0.55
Mg ²⁺	0.39	0.48	0.17	0.40	0.47	0.35	0.72	0.64

HNO_3 濃度は、梼原では 8.6 nmol m^{-3} から 20.2 nmol m^{-3} の範囲にあり、 SO_2 濃度と同様に減少傾向で、香北では 6.6 nmol m^{-3} から 13.2 nmol m^{-3} の範囲にあり、2012年度以降は増加している。

HCl 濃度は、梼原では 9.7 nmol m^{-3} から 16.3 nmol m^{-3} の範囲で、香北では 5.9 nmol m^{-3} から 12.9 nmol m^{-3} の範囲で、ともに大きな変化はなかった。

NH_3 濃度は、梼原では 15.7 nmol m^{-3} から 25.2 nmol m^{-3} の範囲にあり、一定で推移しているのに対して、香北では 18.3 nmol m^{-3} から $128.3 \text{ nmol m}^{-3}$ の範囲にあり、2012年度から大きく減少している。香北で NH_3 濃度が大きく減少した要因として、永瀬ダム管理事務所の浄化槽の影響が考えられる。2012年度に耐震化工事に合わせて、浄化槽を単独浄化槽から合併浄化槽としたが、単独浄化槽を使用していた当時は、風で浄化槽のふたが動くこと

があり、内部が外気と接触することがあったようである。このことから、浄化槽からの NH_3 のリークの影響を受けたものと考えられる。

酸性雨全国調査での全国中央値^{6) 7) 8) 9)}と比較すると、梼原では大気中の SO_2 、 HNO_3 濃度は差がなく、 HCl 、 NH_3 濃度は低い値で推移している。

一方、香北では、 SO_2 、 HCl 濃度は低い値が継続しており、 HNO_3 濃度は2011年度まで、 NH_3 濃度は2012年度以降低く推移している。

酸性雨全国調査で本県が属する「西部」の地域区分では、アジア大陸から排出される SO_2 の影響を受けている可能性があること、桜島や新燃岳の火山ガスの影響を受けている可能性もあることから、 SO_2 濃度は高い傾向にある⁶⁾が、香北では全国的にみて濃度は低かった。

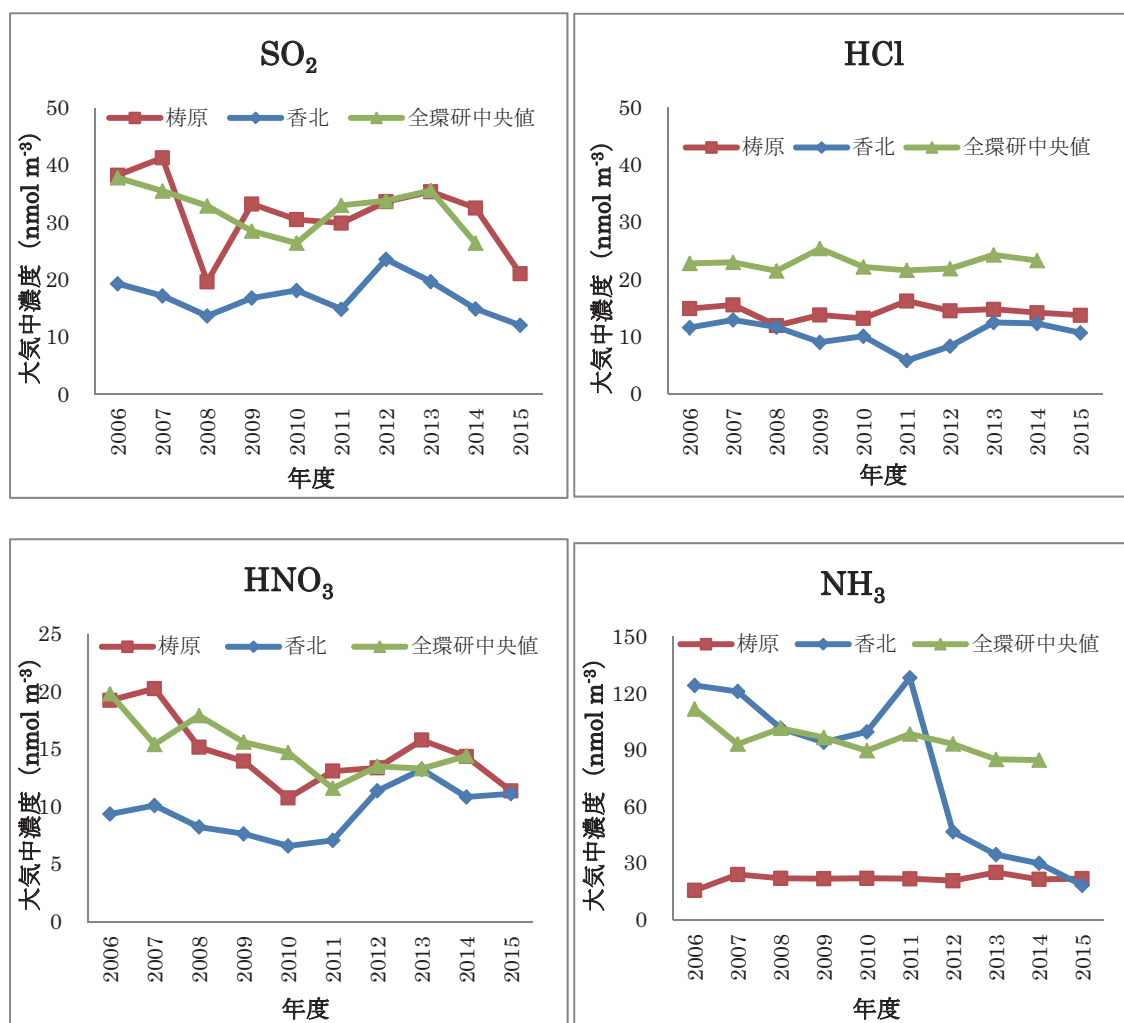


図4 ガス状物質濃度の年平均値

3. 2. 2 月平均値

各月の SO_2 、 HNO_3 、 HCl 、 NH_3 濃度の月平均値を箱ひげ図で図5に示す。

SO_2 濃度の中央値は、梶原、香北ともに1月が最も高く、それぞれ 55.1 、 32.2 nmol m^{-3} であった。梶原、香北ともに冬季に SO_2 濃度が高かった。冬季は、重油等の燃料使用の多い時期でもあり、その影響を受けていることも考えられる。梶原では、風速 5 m を超える北または北北西の風が他の時期と比較して多く吹いており、瀬戸内側からの影響も受けていると考えられる。一方、濃度が最も低かった月は、梶原、香北ともに8月で、それぞれ 8.5 、 6.1 nmol m^{-3} であった。

HNO_3 濃度の中央値は、梶原では5月、香北では4月が最も高く、それぞれ 22.8 、 16.4 nmol m^{-3}

であった。梶原、香北ともに3月から5月にかけて HNO_3 濃度が高かった。一方、濃度が最も低かった月は、梶原では12月、香北では7月で、それぞれ 9.8 、 5.2 nmol m^{-3} であった。

HCl 濃度の中央値は、梶原では1月、香北では3月が最も高く、それぞれ 21.7 、 13.5 nmol m^{-3} であった。一方、濃度が最も低かった月は、梶原では6月、香北では11月で、それぞれ 7.0 、 8.1 nmol m^{-3} であった。梶原は、香北と比較して、12月から2月にかけて HCl 濃度が高かった。梶原では、風速 5 m を超える北または北北西の風がこの時期に多く吹いており、瀬戸内側からの影響も受けていると考えられる。香北は、風速 3 m 未満の北東の風がこの時期に主に吹いている。北東方向は四国山地であり、 HCl の発生源の影響をあまり受け

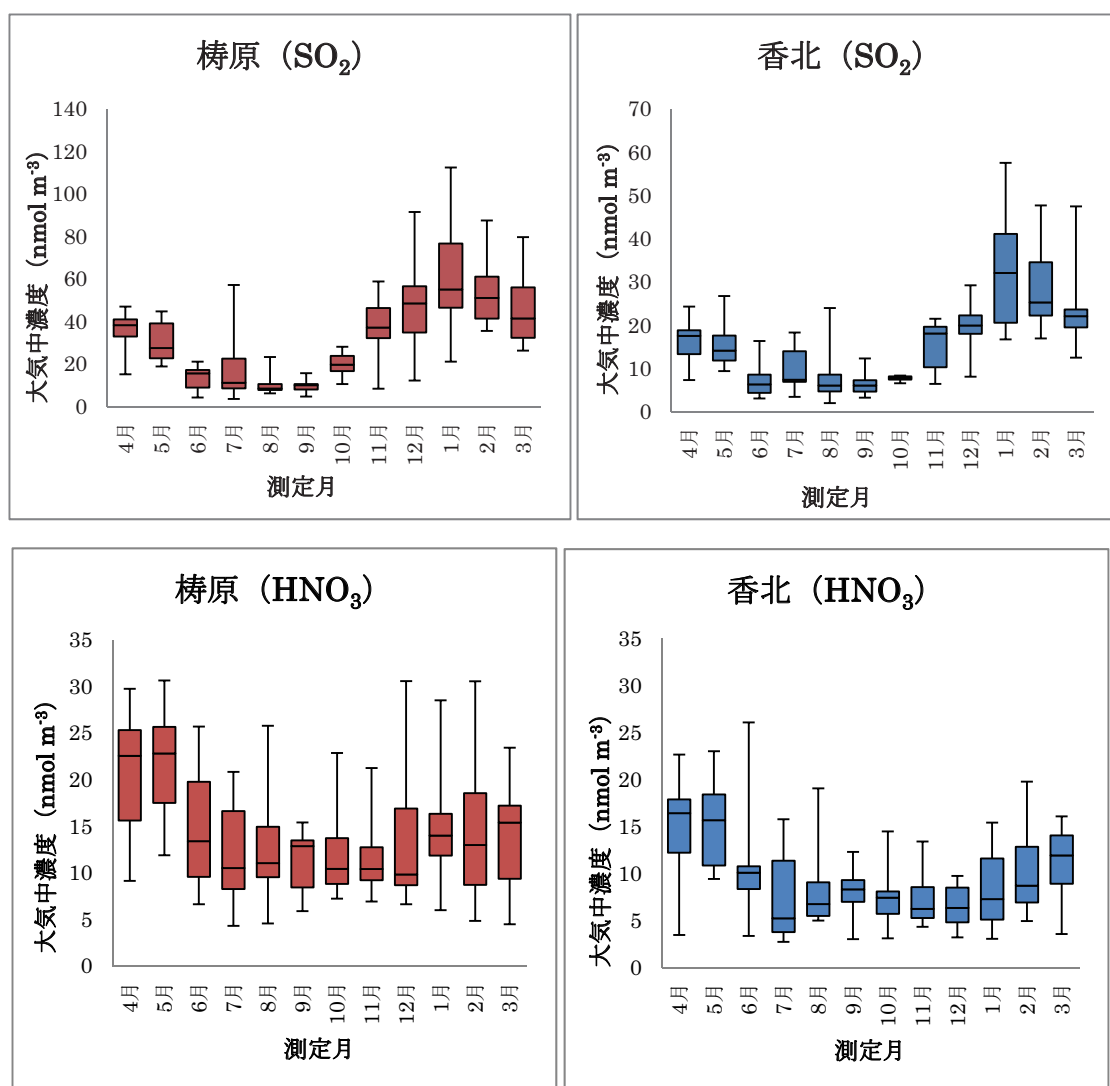


図5 ガス状物質濃度の月平均値

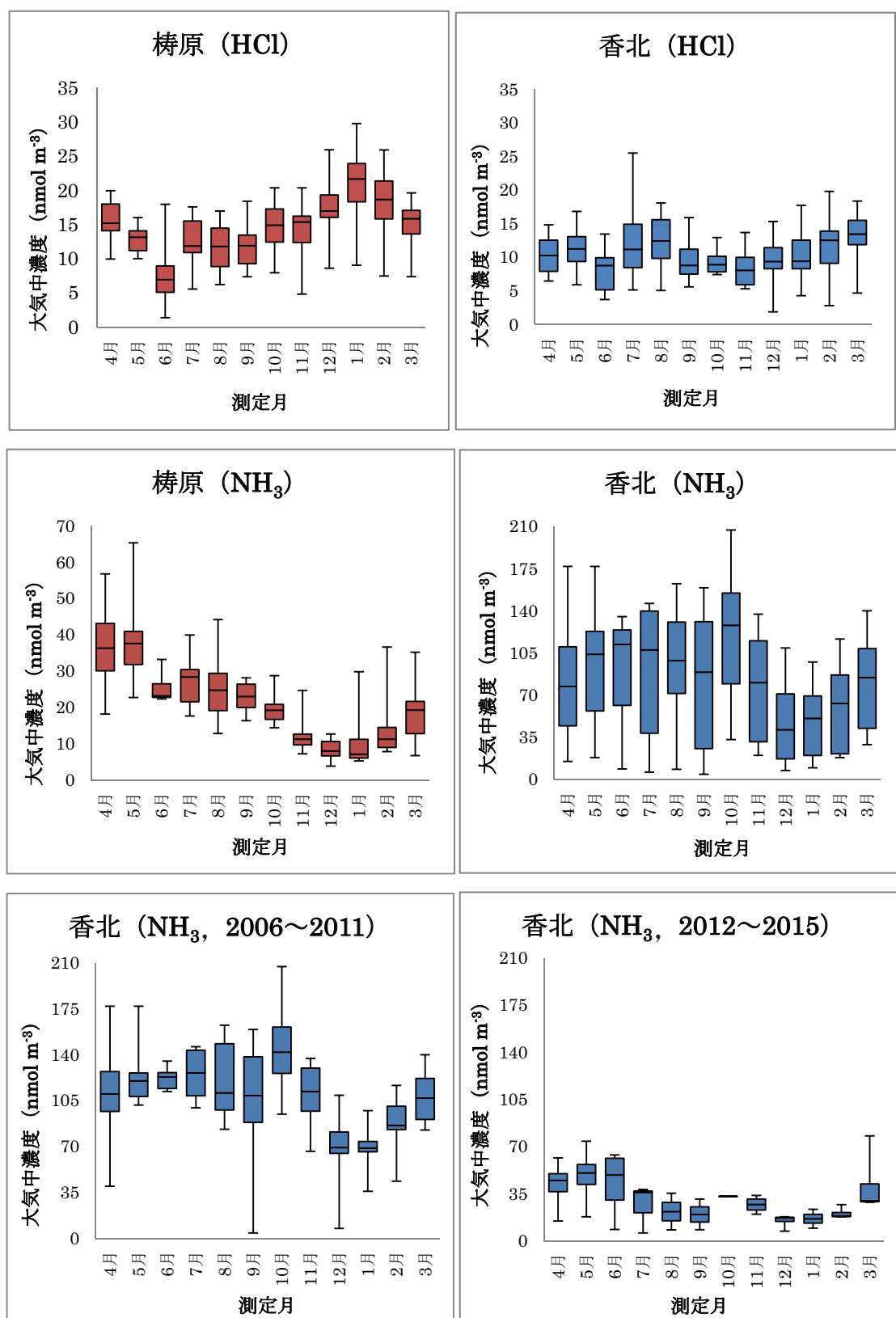


図5 ガス状物質濃度の月平均値

ないものと考えられる。

NH₃濃度の中央値は、梶原では4月、香北では10月が最も高く、それぞれ36.4, 128.0 nmol m⁻³であった。一方、濃度が最も低かった月は、梶原では1月、香北では12月で、それぞれ7.1, 41.2 nmol m⁻³であった。大気中のNH₃濃度は、梶原、香北ともに冬季に低い値を示した。NH₄NO₃などの揮発性粒子の粒子化などの影響が考えられる⁶⁾。

年平均値が大きく減少した香北のNH₃濃度について、2011年度以前と2012年度以後を区別して月平均値の中央値をみると、2006年度から2011年度では、最高値は10月、最低値は1月にみられ、それぞれ142.0, 69.0 nmol m⁻³であった。2012年度から2015年度では、最高値は5月、最低値は1月にみられ、それぞれ50.5, 16.5 nmol m⁻³であった。

酸性雨全国調査で本県が属する「西部」の地域区分と、梶原、香北でのSO₂, HNO₃, HCl, NH₃濃度の月平均値の傾向を比較した^{6) 7) 8) 9) 10) 11) 12)}。SO₂濃度は、「西部」では春季または冬季に高い傾向にあり、梶原、香北も同様の傾向を示した。HNO₃濃度は年度によって傾向が異なるが、「西部」では、2011年度に春季に濃度が高く、夏季から冬季にかけて横ばいに推移していた。梶原、香北の傾向はこれと類似していた。HCl濃度は、「西部」では月平均値の特徴がみられないが、冬季に低くなる傾向を示した。梶原のHCl濃度は冬季に高くなる傾向を示しており、排出源の影響を受けていることが考えられる。NH₃濃度は、「西部」では夏季に高く、冬季に低い傾向を示したが、梶原、2012年度以降の香北では、春季に濃度が高く、冬季に低い傾向を示した。

3. 2. 3 相関関係

梶原、香北及び梶原－香北間の大気中のSO₂, HNO₃, HCl, NH₃濃度の相関関係を表6から表10に示す。相関係数を算出するにあたっては、スミルノフ・グラブズ検定を行い、5%水準での外れ値を除外した。

梶原ではSO₂－HCl濃度でやや強い相関を示したが、香北ではガス状物質濃度の相関関係はみられなかった(表6, 表7)。火山性ガスの影響も考えられたが、阿蘇山、新燃岳、桜島での大規模な噴火時に火口を出た気塊は、本県を通過していな

かったことから、大きくは影響を受けていないものと考えられる¹⁶⁾。

一方、梶原－香北間ではSO₂－SO₂濃度、HNO₃－HNO₃濃度でやや強い相関を示した(表8)。香北のNH₃濃度が大きく変化した2006年度から2011年度までと、2012年度から2015年度に区別して相関関係をみると、2006年度から2011年度では、梶原－香北のSO₂－SO₂濃度で強い相関、HNO₃－HNO₃濃度、梶原のHCl－香北のSO₂濃度でやや強い相関を示した(表9)。2012年度から2015年度では、SO₂－SO₂濃度、HNO₃－HNO₃濃度で、やや強い相関を示した(表10)。また、両地点のNH₃濃度の相関係数は、2006年度から2011年度までは0.25であったのに対して、2012年度から2015年度までは0.59となり大きく上昇したことから、永瀬ダム管理事務所の浄化槽の影響が大きかったものと考えられる(表9, 表10)。

表6 梶原のガス状物質濃度の相関関係 (n=243)

	SO ₂	HNO ₃	HCl	NH ₃
SO ₂	1.00			
HNO ₃	0.43	1.00		
HCl	0.61	0.27	1.00	
NH ₃	-0.18	0.29	-0.16	1.00

注 青字: 0.8 ≤ r, 赤字: 0.6 ≤ r < 0.8
(表7から表10も同様)

表7 香北のガス状物質濃度の相関関係 (n=225)

	SO ₂	HNO ₃	HCl	NH ₃
SO ₂	1.00			
HNO ₃	0.11	1.00		
HCl	0.26	0.30	1.00	
NH ₃	-0.18	-0.06	0.01	1.00

表8 梶原－香北間でのガス状物質濃度の相関関係 (2006年度から2015年度, n=167)

梶原 \ 香北	SO ₂	HNO ₃	HCl	NH ₃
SO ₂	0.76	0.22	0.16	-0.17
HNO ₃	0.21	0.71	0.12	0.08
HCl	0.54	0.11	0.29	-0.12
NH ₃	-0.30	0.41	0.03	0.24

表9 梶原－香北間でのガス状物質濃度の相関関係（2006年度から2011年度，n=94）

梶原 \ 香北	SO ₂	HNO ₃	HCl	NH ₃
SO ₂	0.85	0.15	0.15	-0.34
HNO ₃	0.29	0.79	0.25	0.01
HCl	0.60	0.06	0.17	-0.21
NH ₃	-0.38	0.33	0.03	0.25

表10 梶原－香北間でのガス状物質濃度の相関関係（2012年度から2015年度，n=73）

梶原 \ 香北	SO ₂	HNO ₃	HCl	NH ₃
SO ₂	0.62	0.31	0.16	0.09
HNO ₃	0.10	0.74	0.01	0.43
HCl	0.43	0.20	0.45	-0.13
NH ₃	-0.21	0.57	0.04	0.59

3. 3 粒子状物質－ガス状物質濃度の相関関係

梶原及び香北での粒子状物質－ガス状物質濃度の相関関係について，表11，表12に示す。相関係数を算出するにあたってはスミルノフ・グラブズ検定を行い，5%水準での外れ値を除外した。

梶原では， nss-SO_4^{2-} － HNO_3 濃度， NH_4^+ － HNO_3 濃度でやや強い相関を示した（表11）。一方，香北では，粒子状物質濃度とガス状物質濃度間で強い相関を示さなかった（表12）。

2006年度から2011年度，2012年度から2015年度における香北の粒子状物質－ガス状物質濃度の相関関係を表13，表14に示す。2006年度から2011年度では， HNO_3 濃度と nss-SO_4^{2-} ， NH_4^+ 濃度間で，やや強い相関を示したが（表13），2012年度から2015年度では，同成分間で強い相関を示さなかった（表14）。

香北の粒子状物質中のイオン成分濃度と梶原のガス状物質濃度の相関関係を表15に，梶原の粒子状物質中のイオン成分濃度と香北のガス状物質濃度の相関関係を表16に示す。梶原の HNO_3 濃度と香北の nss-SO_4^{2-} ， NH_4^+ 濃度間では，やや強い相関を示した（表15）。これは，香北の HNO_3 濃度と梶原の nss-SO_4^{2-} ， NH_4^+ 濃度間でも同様であった（表16）。

既に述べたが，梶原と香北では， nss-SO_4^{2-} 濃度と NH_4^+ 濃度で相互にやや強い相関を示している（表5）。また，梶原と香北の HNO_3 濃度でもやや強い相関を示している（表8）。そして，梶原と香北で HNO_3 濃度と nss-SO_4^{2-} ， NH_4^+ 濃度でやや強い相関を示した（表15，16）ことから，両地点の HNO_3 ， nss-SO_4^{2-} ， NH_4^+ 濃度が同一の発生源の影響を受けていると思われた。

nss-SO_4^{2-} 濃度が上昇する要因の一つと考えられる黄砂等の飛来に併せて HNO_3 濃度が上昇するとしたとき， HNO_3 は黄砂に存在する CaCO_3 と反応し

表11 梶原の粒子状物質中のイオン成分，ガス状物質濃度の相関関係（n=213）

	nss-SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	NH_4^+	Na^+	K^+	nss-Ca^{2+}	Mg^{2+}
SO ₂	0.23	0.56	0.21	0.38	0.14	0.29	0.46	0.43
HNO ₃	0.70	0.05	-0.22	0.68	0.05	0.40	0.34	0.30
HCl	0.16	0.61	0.26	0.25	0.45	0.24	0.36	0.46
NH ₃	0.37	-0.22	-0.29	0.21	0.04	0.17	0.26	0.24

注 青字：0.8≤r，赤字：0.6≤r<0.8（表12から表16も同様）

表12 香北の粒子状物質中のイオン成分，ガス状物質濃度の相関関係（2006年度から2015年度，n=195）

	nss-SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	NH_4^+	Na^+	K^+	nss-Ca^{2+}	Mg^{2+}
SO ₂	0.23	0.59	0.20	0.39	0.11	0.39	0.36	0.37
HNO ₃	0.58	0.01	-0.35	0.49	0.16	0.33	0.42	0.38
HCl	0.16	0.26	0.17	0.08	0.58	0.21	0.15	0.44
NH ₃	0.02	-0.05	0.00	0.13	0.01	0.17	-0.17	-0.04

表13 香北の粒子状物質中のイオン成分, ガス状物質濃度の相関関係 (2006年度から2011年度, n=128)

	nss-SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	nss-Ca ²⁺	Mg ²⁺
SO ₂	0.30	0.63	0.17	0.45	0.01	0.40	0.40	0.30
HNO ₃	0.67	-0.11	-0.42	0.65	0.05	0.37	0.20	0.19
HCl	0.21	0.14	0.13	0.11	0.49	0.18	0.08	0.40
NH ₃	0.05	-0.26	-0.17	-0.01	0.10	0.13	-0.09	0.03

表14 香北の粒子状物質中のイオン成分, ガス状物質濃度の相関関係 (2012年度から2015年度, n=67)

	nss-SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	nss-Ca ²⁺	Mg ²⁺
SO ₂	0.10	0.53	0.30	0.24	0.37	0.38	0.41	0.54
HNO ₃	0.47	0.26	-0.14	0.47	0.32	0.43	0.59	0.56
HCl	0.08	0.46	0.30	0.04	0.75	0.30	0.22	0.49
NH ₃	0.44	-0.07	-0.26	0.37	-0.03	0.34	0.38	0.34

表15 香北の粒子状物質中のイオン成分, 梶原のガス状物質濃度の相関関係 (n=157)

梶原 \ 香北	nss-SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	nss-Ca ²⁺	Mg ²⁺
SO ₂	0.23	0.56	0.21	0.38	0.14	0.29	0.46	0.43
HNO ₃	0.70	0.05	-0.22	0.68	0.05	0.40	0.34	0.30
HCl	0.16	0.61	0.26	0.25	0.45	0.24	0.36	0.46
NH ₃	0.37	-0.22	-0.29	0.21	0.04	0.17	0.26	0.24

表16 梶原の粒子状物質中のイオン成分, 香北のガス状物質濃度の相関関係 (2006年度から2015年度, n=142)

梶原 \ 香北	SO ₂	HNO ₃	HCl	NH ₃
nss-SO ₄ ²⁻	0.15	0.64	0.23	0.09
NO ₃ ⁻	0.56	0.18	0.20	-0.20
Cl ⁻	0.21	-0.07	0.09	-0.19
NH ₄ ⁺	0.29	0.62	0.19	0.04
Na ⁺	0.16	0.07	0.27	0.04
K ⁺	0.32	0.42	0.06	0.03
nss-Ca ²⁺	0.23	0.44	0.08	0.00
Mg ²⁺	0.20	0.41	0.19	0.08

て, NO₃⁻として非可逆的に黄砂に取り込まれること¹¹⁾から, アジア大陸から本県に到達するときにはNO₃⁻として到達していると考えられる。しかし, 梶原, 香北の両地点でNO₃⁻濃度とnss-SO₄²⁻, NH₄⁺濃度間で強い相関を示さなかったことから, HNO₃濃度とnss-SO₄²⁻, NH₄⁺濃度との間でやや強い相関を示した要因は, 黄砂等に伴う影響とは異なることが考えられる。

3. 4 粒子化率の変動

梶原, 香北での全硫酸 (粒子状SO₄²⁻濃度とガ

ス状SO₂濃度の和), 全硝酸 (粒子状NO₃⁻濃度とガス状HNO₃濃度の和), 全アンモニア (粒子状NH₄⁺濃度とガス状NH₃濃度の和), 全塩化物 (粒子状Cl⁻濃度とガス状HCl濃度の和) の粒子化率の月平均値及び梶原, 香北の月平均気温を図6から図9に示す。香北では気温の測定を行っていないため, 測定局の近辺にある大柁気象官署での結果を用いている²⁾。粒子化率は, 粒子状物質のイオン成分濃度/(粒子状物質のイオン成分濃度+ガス状成分濃度)×100から算出した。

全硫酸の粒子化率は, 梶原, 香北ともに夏季に

高く，冬季に低い傾向を示した．これは，梲原，香北の月平均気温の推移と一致していたが，夏季は気温が上昇することにより，水中に溶けたイオン成分が水分の蒸発によって再度粒子化すること，冬季は暖房などの使用により SO_2 排出量が増加することなどの影響が考えられる．

全硝酸，全アンモニアの粒子化率は，梲原，香北ともに，夏季に低く，冬季に高い傾向を示した．夏季では， NH_4NO_3 から NH_3 ， HNO_3 のガス化が促進されること，紫外線により NO_2 とOHラジカルの反応が活発になるなどの理由が考えられる．酸性雨全国調査で，本県が属する「西部」の地域区分に属する他の測定局においても同様の傾向がみられた¹⁴⁾．

全塩化物の粒子化率は，季節による特徴はみられなかった．

4. まとめ

2006年度から2015年度における梲原，香北の大気中の粒子状物質，ガス状物質濃度の特徴についてまとめた．

大気中の粒子状物質中のイオン成分濃度について， nss-SO_4^{2-} 濃度の年平均値は，梲原，香北ともに全国と比較して高い値， NO_3^- 濃度の年平均値は低い値， NH_4^+ 濃度の年平均値は，全国と比較して差がみられなかった．これは，アジア大陸からの汚染大気の流れの影響を受けているためと考えられる． nss-Ca^{2+} 濃度は，梲原では2011年度以降は全国と比較して低い値であり，香北では2012年度を除いて低い値で推移していた．

梲原，香北の粒子状物質中のイオン成分濃度では， $\text{nss-SO}_4^{2-} - \text{NH}_4^+$ 濃度で強い相関を， $\text{Mg}^{2+} - \text{nss-Ca}^{2+}$ 濃度でやや強い相関を示した．また，梲原と香北の地点間では， nss-SO_4^{2-} 濃度で強い相関を， NO_3^- 濃度， NH_4^+ 濃度， nss-Ca^{2+} 濃度， Mg^{2+} 濃度ではやや強い相関を，異なるイオン成分濃度では， $\text{nss-SO}_4^{2-} - \text{NH}_4^+$ 濃度において，相互にやや強い相関を示した． nss-SO_4^{2-} ， NH_4^+ 濃度は，黄砂等の広域的な要因により梲原，香北にまたがって影響を

受けていることが考えられる． NO_3^- ， Mg^{2+} 濃度については，梲原－香北間では，それぞれのイオン成分同士でやや強い相関を示したが，他のイオン成分とは強い相関を示さず，黄砂等の影響が大きいことも考えられる．

大気中のガス状物質濃度について，梲原の SO_2 ， HNO_3 濃度の年平均値は，全国と比較して大きな差がなく推移しているが，梲原の HCl ， NH_3 濃度は低い値で推移していた．また，香北の HNO_3 濃度は，2012年度以降は増加していたが，その他のガス状物質濃度は低い値で推移していた．梲原，香北の SO_2 ，梲原の HCl は冬季に濃度が高く，梲原，香北の HNO_3 は春季に濃度が高かった．梲原では，冬季に瀬戸内側の発生源の影響を受けていることも考えられる．一方，梲原，香北の NH_3 濃度は冬季に低い傾向にあった．

梲原での $\text{SO}_2 - \text{HCl}$ 濃度でやや強い相関を示したが，その他のガス状物質及び香北のガス状物質では強い相関を示さなかった．梲原，香北のガス状物質濃度では， SO_2 濃度間， HNO_3 濃度間でやや強い相関を示した．

粒子状物質中のイオン成分濃度とガス状物質濃度の相関関係をみると，梲原では， nss-SO_4^{2-} ， NH_4^+ 濃度と HNO_3 濃度との間で，香北においても，2006年度から2011年度までは，同成分間でやや強い相関を示した．両地点間の同成分の相関関係においても同じ傾向を示した．

全硫酸，全硝酸，全塩化物，全アンモニアの粒子化率の特徴については，全硫酸では，夏季に粒子化率が高く，冬季に低い傾向を示した．夏季は，気温が上昇することにより水中に溶解したイオン成分が，水分の蒸発に伴って再度粒子化するなどの影響が，冬季は SO_2 排出量の増加の影響が考えられる．全硝酸，全アンモニアの粒子化率は，夏季に低く，冬季に高い傾向を示した．夏季では， NH_4NO_3 から NH_3 ， HNO_3 のガス化が促進される，紫外線により NO_2 とOHラジカルの反応が活発になるなどの理由が考えられる．一方，全塩化物の粒子化率は，季節による特徴はみられなかった．

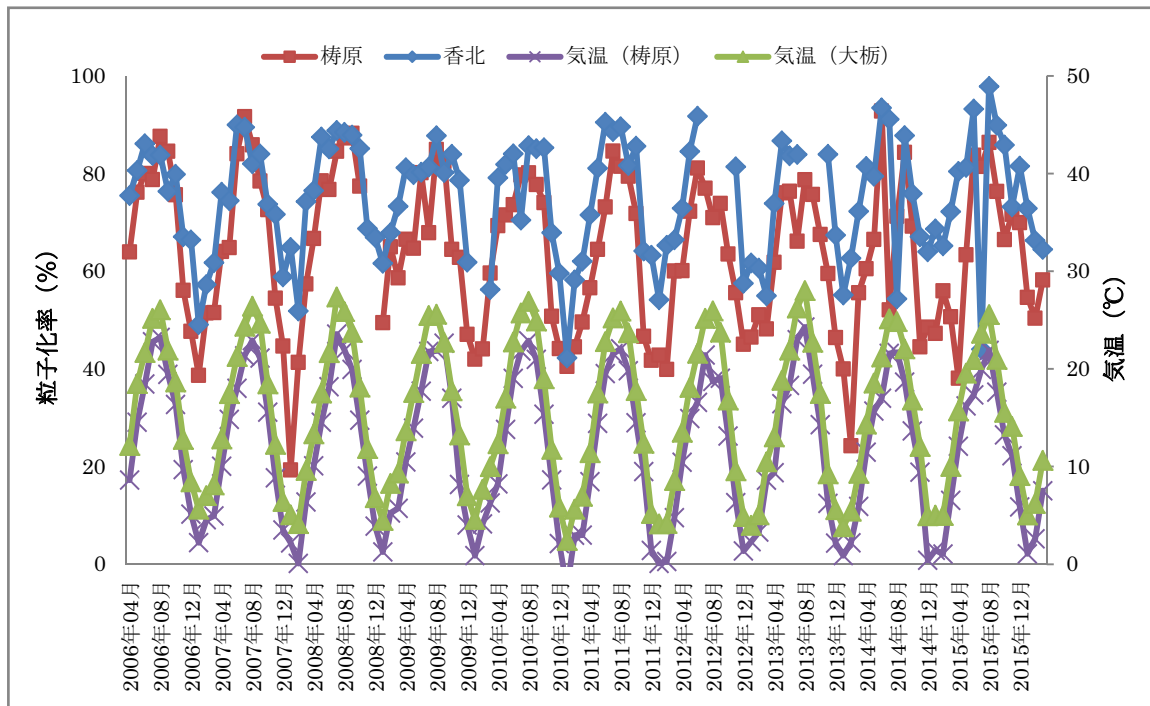


図6 全硫酸の粒子化率の推移

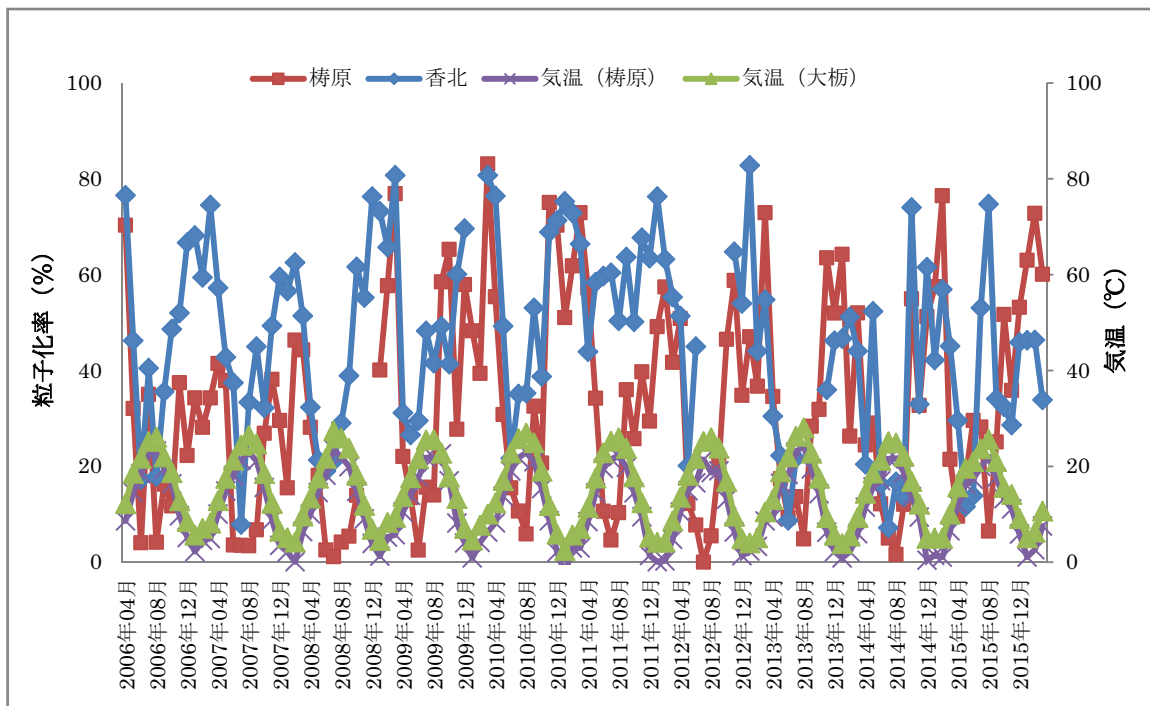


図7 全硝酸の粒子化率の推移

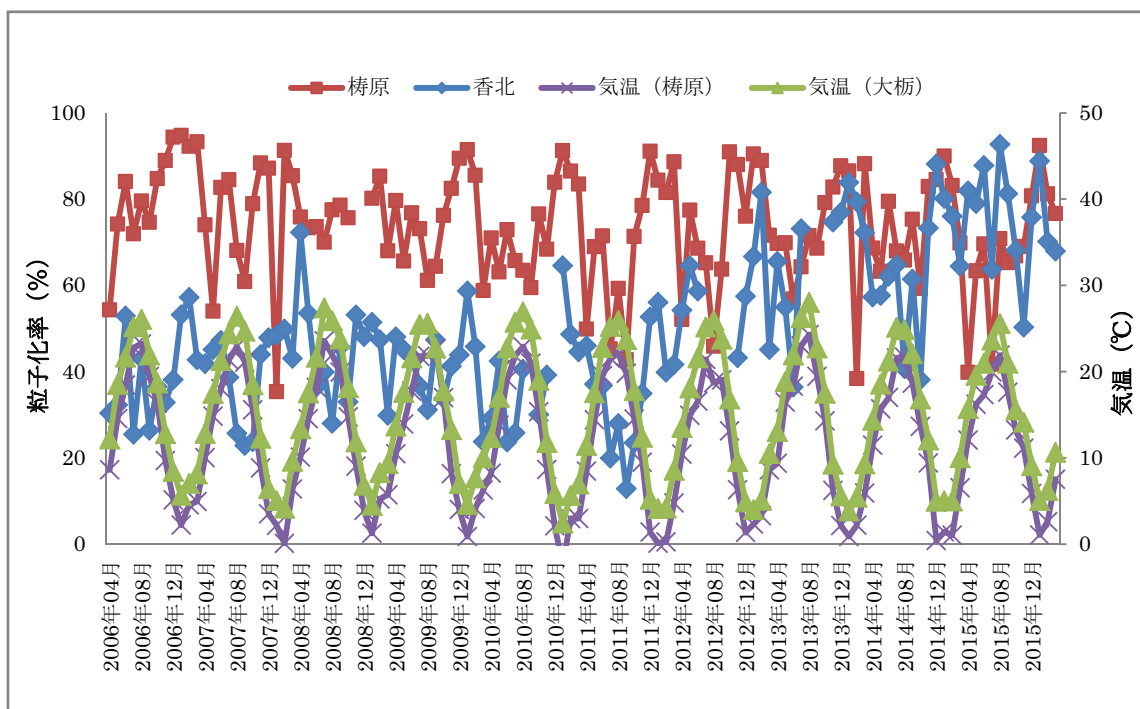


図8 全アンモニアの粒子化率の推移

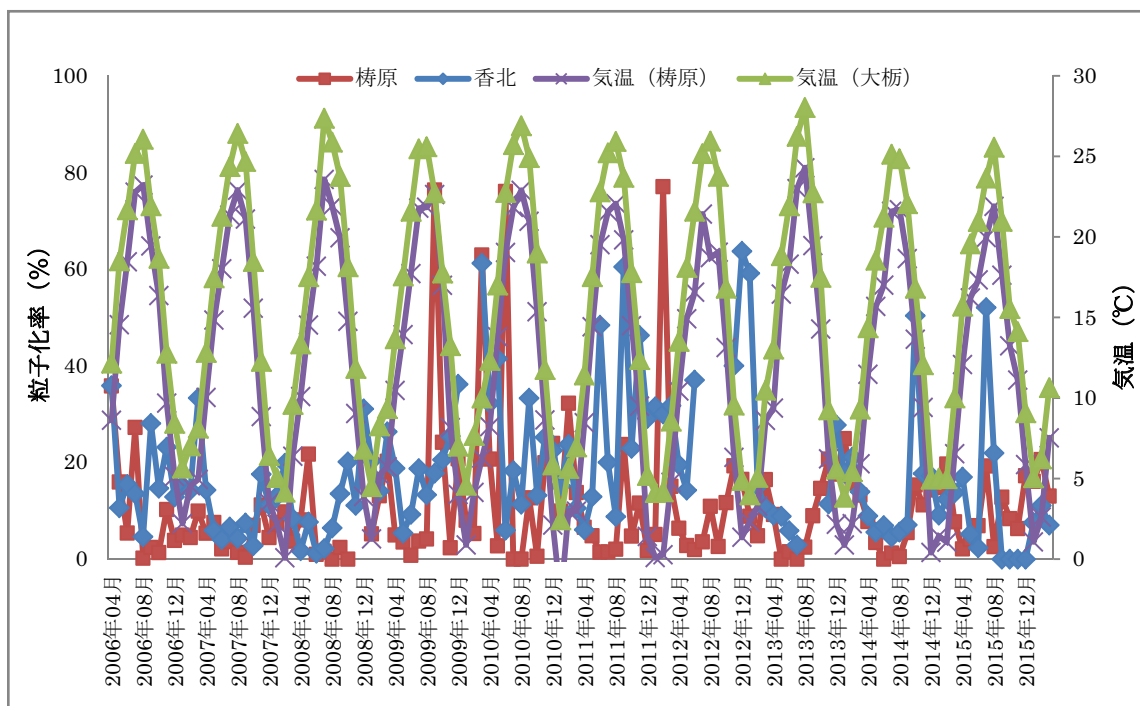


図9 全塩化物の粒子化率の推移

参考文献等

- 1) 環境省：越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング報告書（平成20～24年度），2014
- 2) 気象庁：過去の気象データ・ダウンロード，
<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>
- 3) 気象庁：日々の天気図 <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>
- 4) 気象庁：2009年黄砂観測日および観測地点の表，http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/kosahp/kosa_table_2009.html
- 5) 坂本武大ら：高知県における酸性雨調査（第14報）乾性沈着の動向について，高知県環境研究センター所報，30，25-38，2013
- 6) 全国環境研協議会酸性雨広域大気汚染調査研究部会：第5次酸性雨全国調査報告書（平成26年度），41，（3），2-37，2016
- 7) 全国環境研協議会酸性雨広域大気汚染調査研究部会：第5次酸性雨全国調査報告書（平成25年度），40，（3），98-142，2015
- 8) 全国環境研協議会酸性雨広域大気汚染調査研究部会：第5次酸性雨全国調査報告書（平成24年度），39，（3），100-146，2014
- 9) 全国環境研協議会酸性雨広域大気汚染調査研究部会：第4次酸性雨全国調査報告書（平成18年度），33，（3），126-196，2008
- 10) 全国環境研協議会酸性雨広域大気汚染調査研究部会：第5次酸性雨全国調査報告書（平成23年度）38，（3），84-126，2013
- 11) 全国環境研協議会酸性雨広域大気汚染調査研究部会：第5次酸性雨全国調査報告書（平成22年度）37，（3），110-158，2012
- 12) 全国環境研協議会酸性雨広域大気汚染調査研究部会：第5次酸性雨全国調査報告書（平成21年度）36，（3），106-146，2011
- 13) 全国環境研協議会酸性雨広域大気汚染調査研究部会：第4次酸性雨全国調査報告書（平成20年度）35，（3），88-138，2010
- 14) 松田貴志ら：久住地域における乾性沈着物中のイオン成分の特性について（2011～2013年度），大分県衛生環境研究センター年報，41，40-49，2013
- 15) 鵜野伊津志ら：九州北部で2014年5月下旬から1週間継続した黄砂期間の硝酸塩の越境輸送のモデル解析，大気環境学会誌，51，（4），181-189，2016
- 16) 米海洋大気庁：NOAA（USA），HYSPLIT MODEL，
https://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php

物部川における新しい水質調査の試み

大森真貴子・立川真弓

Attempts of New Water Quality Survey in Monobe River

Makiko Oomori, Mayumi Tachikawa

【要旨】 高知県では、県民・国民の財産として良好な水質を後生に引き継いでいくために、四万十川において清流のわずかな変化をとらえるための独自の水質調査を行ってきた。四万十川と同じく一級河川である物部川においても同一水質調査を実施した（2011～2014年度）が、濁度が高いことが多く、また、水生生物採取可能な場所が少ないことにより、この調査方法では物部川の水質は評価できないと考えた。よって、濁度の高い河川において可能であり、地域住民の測定しやすい方法、かつ、身近な場所での調査を軸に物部川独自の水質調査方法を検討した（2015、2016年度）。

Key words：物部川，透視度，簡易ろ過測定法

1. はじめに

物部川は高知県の中部を流れる河川で、四国山地中央部の白髪山に源を発する槇山川が南西に流下し、剣山国定公園中の別府峠を経て、香長平野を流れ香南市で土佐湾に注ぐ、長さ71km流域面積508km²の一級河川である。また、上流域では三嶺に源を発する水質良好な上葎山川と合流しており、全国有数の急流河川である。中流部には多くのダムと堰が設置されており、物部川は古くから人々の生活に深くかかわってきた。下流域では分水した用水路が香長平野に広がっており、物部川の水は日常多くの住民の目に触れている。より多くの人々に親しまれる物部川にするためにも、地域主体の参加型の水質調査が必要と考えた。今回、地域住民の測定しやすい方法で、かつ、身近な場所での調査を検討し試みたので報告する。

2. 調査内容

2. 1 調査内容の検討

2011年度から2014年度に清流基準調査を行い、その結果から2015年度に新調査方法を検討し、2016年度には実施検証した。

2. 1. 1 清流基準調査

2011年度から2014年度にかけて、物部川水域9地点（日の出橋（槇山川）、安丸（上葎生川）、大板橋、在所橋、日ノ御子（川ノ内川）、杉田ダム、町田堰、戸板島橋、野市（途中河川工事のため蔵福寺島に変更）において、四万十川と同じ清流基準調査を行った。



図1 清流基準調査地点（国土地理院地図をもとに作成）

2. 1. 1. 1 清流度調査法

清流度は、水中の水平方向の透明性を表すもので、きれいな水の中の濁りのわずかな変化を測定する方法である。調査日は4～5日間続いて雨がなく、河川水質が安定した昼間の晴れた日を選ぶ。水深0.3～1.0m位の平瀬で、直径20cmのブラックディスクを水中に入れ、そのディスクを水平方向に見通したときに見えなくなる距離（m）を、調査者が清流度計（図2）を使って測定する方法である（図3）。



図2 清流度計

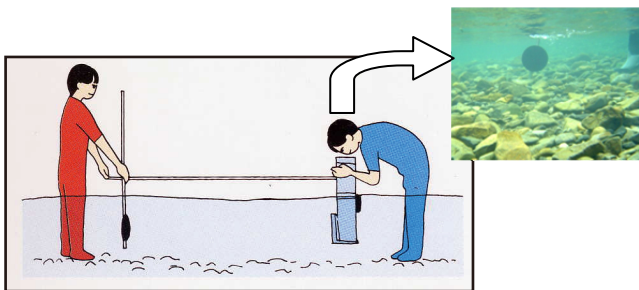


図3 清流度調査法

2. 1. 1. 2 水生生物による四万十川方式調査法

2000年度及び2001年度に四万十川流域で調査した水生生物調査結果を基に考案した調査方法である。地点ごとに年4回、水生生物採取用の網を用いてキックスイープ法で採取する。採取は、河川の瀬を中心に条件の違う場所数カ所とする。調査者が数人で採取し、採取時間については自由とする。

表1に40種の指標生物とスコア値を示した。スコア値は、きれいな河川に生育する水生生物ほど高く設定されており、その合計である「総スコア

値（TS値）」を求める。その総スコア値と採取生物の種類数である「指標生物数」から平均スコア値（ASPT値）を求め、表2の水質階級判定基準により水質階級を決定する。

$$\text{平均スコア値 (ASPT値)} = \frac{\text{総スコア値 (TS値)}}{\text{指標生物数}}$$

表1 指標生物40種及びスコア値

指標生物	スコア値
アミカ	10
サワガニ	9
チラカゲロウ	9
ヒラタカゲロウ	9
カワゲラ	9
ナガレトビケラ	9
携巢性トビケラ	9
ヘビトンボ	9
ヨコエビ	9
タニガワカゲロウ	8
マダラカゲロウ	8
ヒゲナガカワトビケラ	8
ナガレアブ	8
カワニナ	8
モンカゲロウ	7
サナエトンボ	7
ナベブタムシ	7
シマトビケラ	7
ガガンボ	7
ブユ	7
テナガエビ	7
ブラナリア	7
コカゲロウ	6
キイロカワカゲロウ	6
ヒラタドロムシ	6
ホタル	6
スジエビ	6
モクズガニ	6
イシマキガイ	6
アミメカゲロウ	5
タイコウチ・ミズカマキリ	5
シジミガイ	5
タニシ	4
モノアラガイ	3
ヒル	2
ミズムシ	2
アメリカザリガニ	1
赤いユスリカ(腹鰓アリ)	1
サカマキガイ	1
イトミミズ	1

表2 水質階級判定基準

水質階級	指標生物種類数	ASPT値
1	10種以上	7.5以上
2	8種以上	7.0以上
3	7種以上	6.0以上
4	6種以上	5.0以上
5	5種以上	3.0以上
6	4種以下	3.0未満

2. 1. 1. 3 窒素・りんによる調査法

窒素については銅・カドミウムカラム還元法（流れ分析法），りんについてはペルオキシ二硫酸カリウム分解法（流れ分析法）にて測定する。

2. 1. 2 清流基準調査結果

2011年度から2014年度の清流基準調査の結果を表3に示す。

清流度については，上流域2地点（日の出橋，安丸），中流域1地点（日ノ御子），下流域3地点（町田堰，戸板島橋，野市（蔵福寺島））で行い，結果は図4に示す。中流域はダムたん水域のため調査不可能な地点が多く，支川の1地点のみの調査であった。そのため，上流域と下流域のデータの継続性がなく，下流域の地点間については相関があるが，上流の地点間，上流下流の地点間は相

関がないという結果となった。調査地点間の清流度の相関は表4に示す。

清流度と濁度の関係を図5に示す。図4，5より，上中流域のデータは，清流度測定のための河川の透明度の微妙な変化を把握できているが，下流域の地点においては，清流度がほとんど4 m以下を示し，清流度測定に適した河川ではなかった。

水生生物調査においてもダム等により調査箇所が限定され，清流度測定地点とほぼ同じ地点となった。また，水生生物採取に適当な瀬がない地点や，採取時期や前日の天候により水没して採取困難なこともあり，指標生物種類数が5種以下の地点が多く見られた（図6）。水生生物による水質評価を行うと，種類数が少ないために水質階級は4から5となり，TOCや窒素・りんの結果から想

表4 清流度の調査地点間の相関

	日の出橋 (槇山川)	安丸 (上韭生川)	日ノ御子 (川ノ内川)	町田堰	戸板島橋	野市 (蔵福寺島)
日の出橋(槇山川)	1.000					
安丸(上韭生川)	-0.045	1.000				
日ノ御子(川ノ内川)	0.772	-0.015	1.000			
町田堰	0.183	0.274	0.093	1.000		
戸板島橋	-0.041	0.502	-0.076	0.858	1.000	
野市(蔵福寺島)	0.042	0.755	-0.087	0.796	0.751	1.000

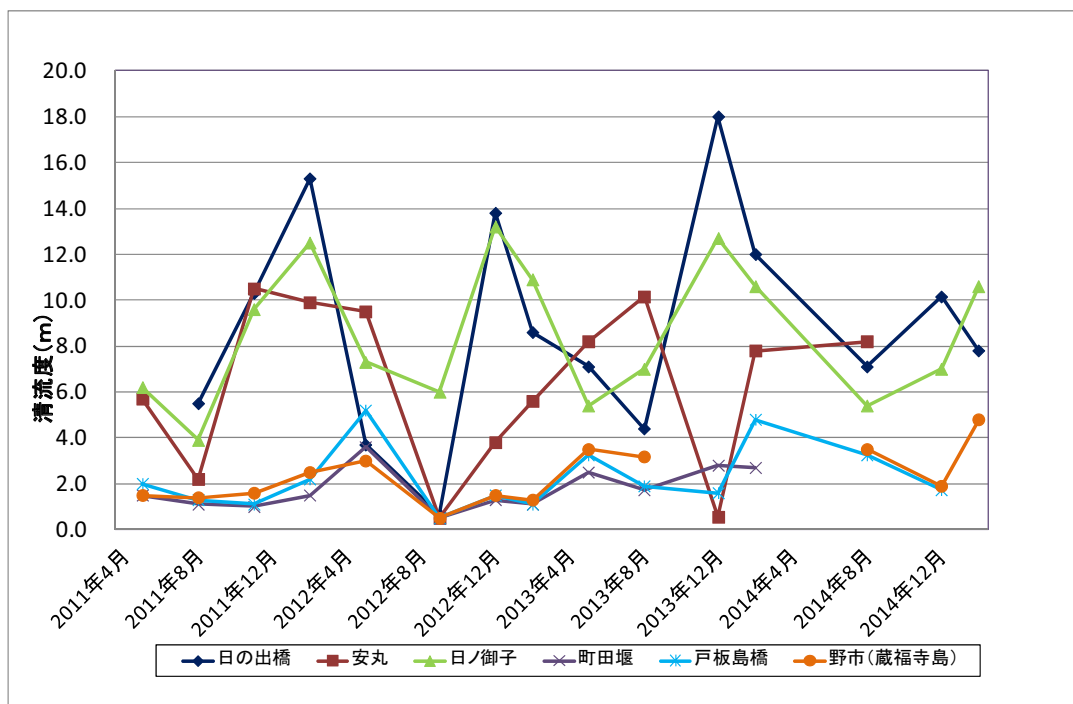


図4 物部川の清流度（2011～2014年度）

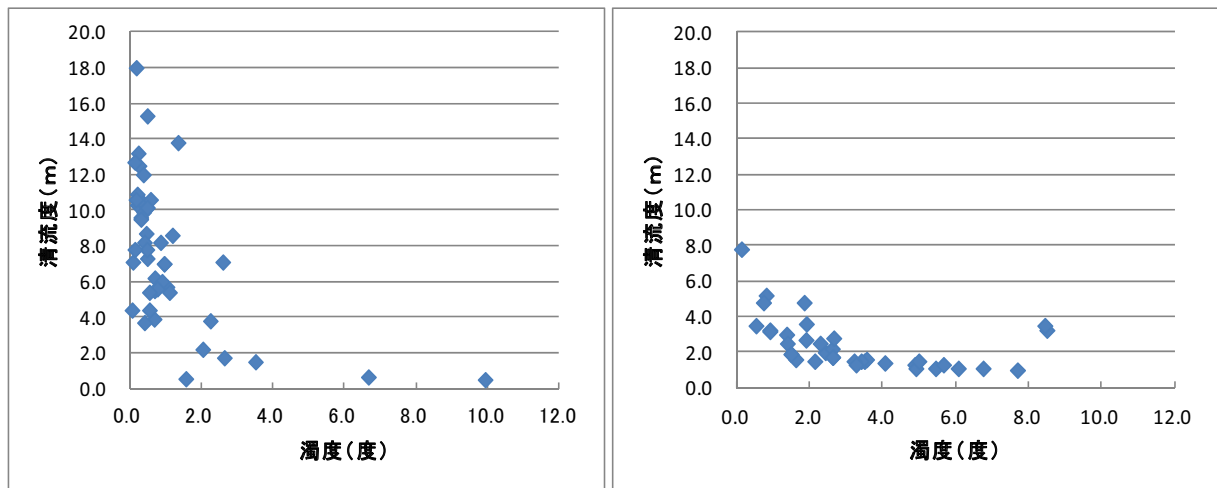


図5 清流度と濁度（左：上中流域，右：下流域）

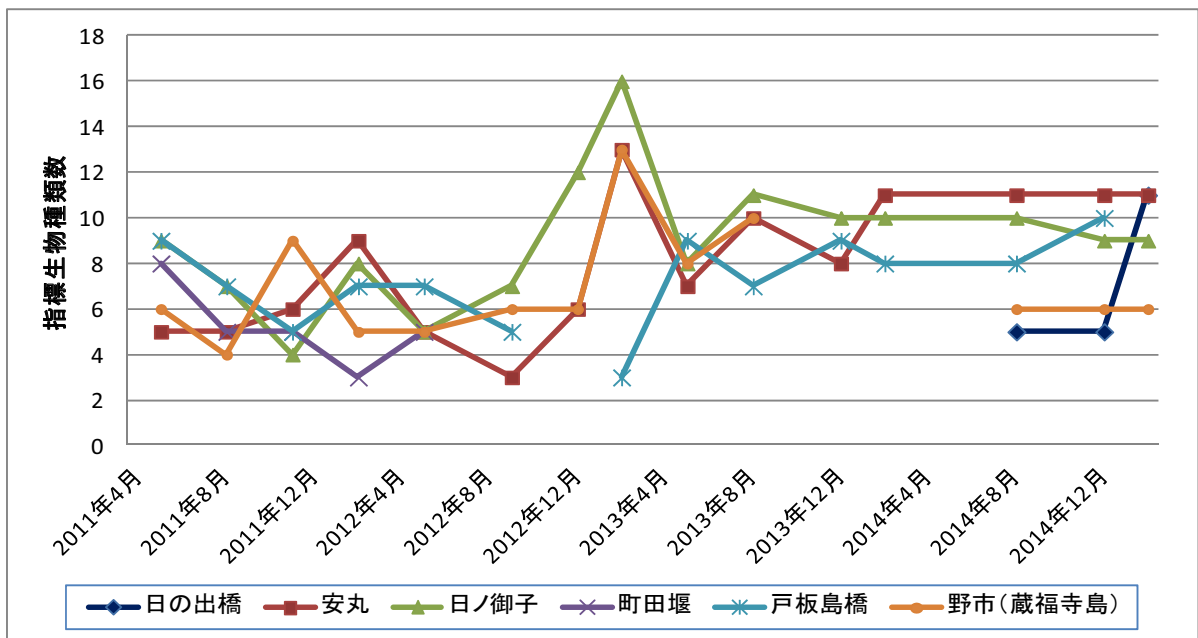


図6 物部川の指標生物種類数（2011～2014年度）

定される水質と大きく違いが見られ、四万十川方式では正確な水質評価ができないと判断された。

2. 2 新調査法の概要

2011年度から2014年度までの調査結果から、清流基準調査による物部川の水質評価はできないと考え、物部川独自の水質調査方法を検討した。

2. 2. 1 調査地点

物部川の下流域周辺は古くから取水堰を設置し、右岸に上井川、中井川、舟入川、島井川、左岸に父養寺井の5水路が開かれ、周辺の発展につな

がっている。それらの水路は現在も利用され、次々に分水し、物部川の河川水が東西に流下している。また、周辺田畑への農業用水等にも利用されており、水路の水こそが住民に関心の高い身近な河川水と考える。そこで、新しい調査については、まず住民の身近な中下流地域で始めることとし、公園や流域の小学校近くの河川や水路を調査地点とした。

調査地点は9地点であり、表5、図7のとおりである。河川での調査は川ノ内川日ノ御子（以下日ノ御子とする.）、片地川さこやぶ橋（以下片地川とする.）、物部川緑地、物部川戸板島橋（以下

表 5 調査地点

地点		
河川	A	川ノ内川日ノ御子
	B	片地川さこやぶ橋
	C	物部川緑地
	D	物部川戸板島橋
水路	1	楠目小学校前
	2	山田小学校前
	3	舟入小学校前
	4	佐古小学校前
	5	野市小学校前



図 7 調査地点 (国土地理院地図をもとに作成)

戸板島橋とする。)の4ヶ所、水路での調査は楠目小学校前、山田小学校前、舟入小学校前、佐古小学校前、野市小学校前の5ヶ所で行った。

2. 2. 2 調査時期

新しい水質調査でありデータ採取のため、2015年度は6月から1月(12月を除く)の毎月1回、2016年度は6, 8, 12, 2月の年4回の調査を行った。

2. 2. 3 調査方法

清流基準調査の清流度調査法に替えて、透視度、簡易ろ過測定法を行い、水生生物調査については40種採取の四万十川方式調査法から4種のみの調査に変更した。水生生物調査については、一部山田小学校前水路で実施したが、他の水路の地点では実施せず、河川の地点のみとした。

2. 2. 3. 1 透視度

透視度は水質調査等で採取した試料の透明度の度合いを示す指標である。現地で測定が可能であり、濁りの発生しやすい物部川においては、清流度計より扱いが容易な透視度計(100cm)が適していると考えた。

2. 2. 3. 2 簡易ろ過測定法

河川の濁りについては、環境分野では濁度、透視度のほか、浮遊物質量(SS)という測定項目によって水中に浮遊または懸濁している物質を測定している。この測定方法を参考に、現地で簡単にできる方法を考案した。

ろ紙はSS測定と同じガラス繊維ろ紙を使用、ろ過器はNALGENE分析テストフィルターロートを使用した。ロートのみではろ過速度が遅いため、ロートの出口にチューブと二股のチューブコネクターを取り付けた(図8)。上部に河川水を注入すると水と空気の抜ける通路がそれぞれでき、迅速なろ過が実現できた。これを利用して現地でろ過を実施する。

簡易ろ過測定法は、このろ過器にガラス繊維ろ紙を挟み、500mLの河川水をろ過し、ろ紙を自然乾燥した後、濁度色見本(図9)と比較し判定する。濁度色見本の5は、透視度100cmに相当する。

濁度色見本は、物部川の濁水を利用して濁度1から20度の試料を作り、ろ過後のろ紙を用いて作成した。濁度色見本1と20のろ紙を電子顕微鏡で撮影、EDS解析したものを図10に示す。濁度色見本1は通常時、20は濁水時のろ紙である。両試料とも土質由来の粒子で構成されており、成分も類似していることから、物部川の濁水を利用した。



図8 簡易ろ過測定法で用いるろ過装置

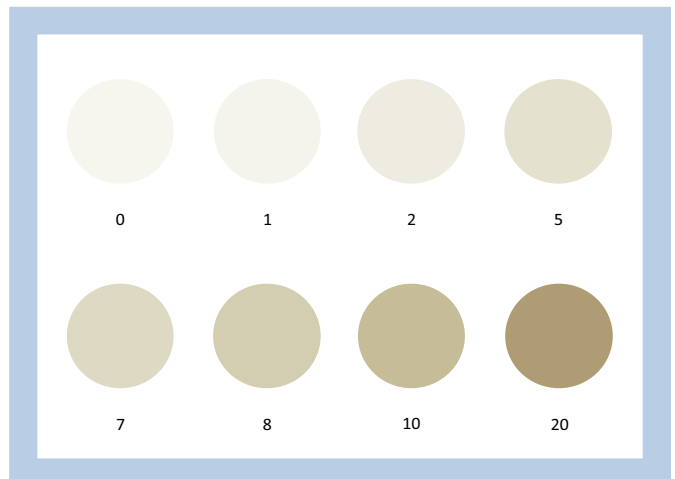
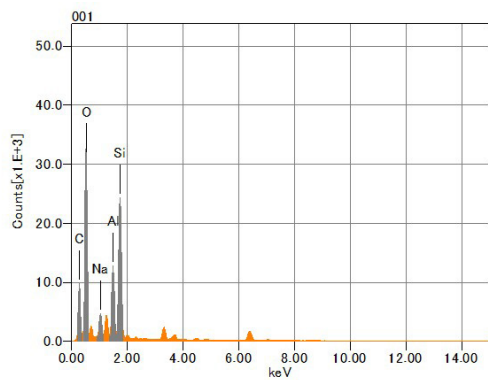
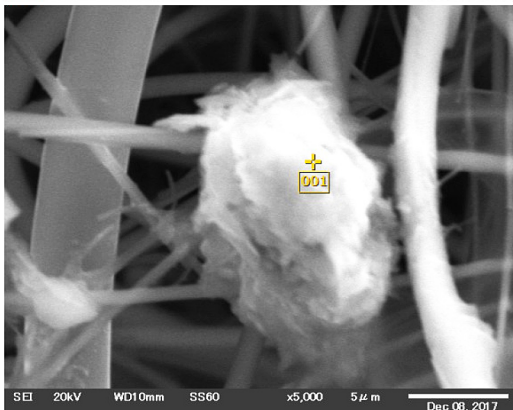


図9 濁度色見本

通常



濁水

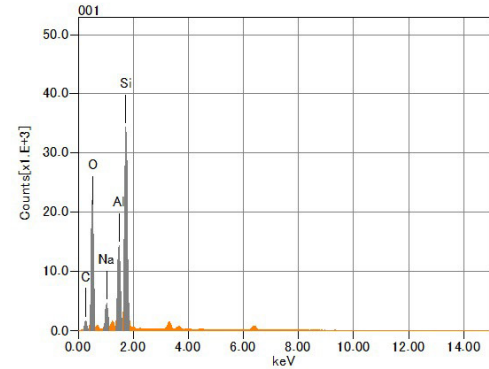
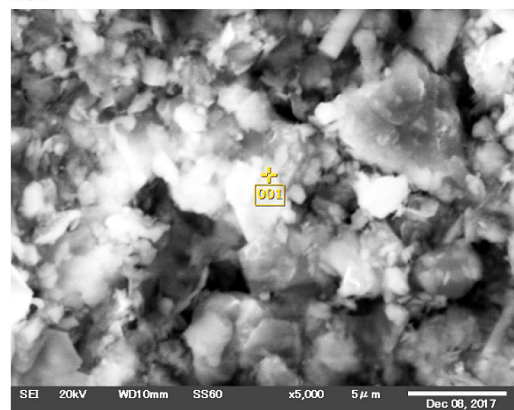


図10 物部川河川水のろ過物の電子顕微鏡写真と元素組成
(左：通常時（濁度色見本1）右：濁水時（濁度色見本20）)

2. 2. 3. 3 簡易水生生物調査

2011年度から2014年度の清流基準調査の結果（表3）から、物部川は生物採取が難しい河川であり、天候によって生物相も大きく変化することが分かった。よって、水生生物調査結果から出現率の高い生物を選び、そのうち判別が容易な4種（表6）に限定して調査を行うこととした。採取方法は人数、採取時間など制限なしとし、見つかった指標生物の種類数によって判定した。

表6 簡易水生生物調査における指標生物

指標生物	分類	(参考) 四万十川方式によるスコア値
ヒラタカゲロウ科	匍匐型	9
カワゲラ目	匍匐型	9
ヒゲナガカワトビケラ科	固着型	8
コカゲロウ科	遊泳型	6



ヒラタカゲロウ科



カワゲラ目



ヒゲナガカワトビケラ科



コカゲロウ科

図11 指標生物4種（高井幹夫氏撮影）

3. 調査結果

2015年度については、新調査法を検討するために、晴天のみでなく雨天後なども含め調査を行い、2016年度については、晴天時の通常の河川の状態時に年4回調査を行った。調査結果は表7に示す。

3. 1 透視度

透視度の結果を図12に示す。

2015年度の毎月データから、物部川は降雨によって濁りが発生し、雨の状況によっては2ヵ月間影響が見られた。また、最低6cmの値を示した地点もあり、濁りの多い河川では透視度計での計測が有効であると思われた。

通常の河川の状態での調査が行われた2016年度の結果から判断すると、一番透視度が高かった時期は秋季の12月であり、すべての地点で100cm以上であった。一方、透視度が低かった時期は、春季の6月であり、片地川の55cmから日ノ御子の100cm以上であった。地点別に見ると、1年通して100cm以上であったのは日ノ御子のみであった。春夏には透視度も低くなり、秋冬には透視度はほぼ100cm以上となる結果となり、四季での変動は清流度と同じ傾向を示した¹⁾。

堰から分取した水路については、流れが速く浮遊物質が沈降しないため、表8のとおり物部川本川との相関が強い結果となった。この結果から、遠方の河川の地点での調査ではなく、身近な水路での調査によって物部川の透視度が把握できると考えられる。また、身近な場所で調査することにより、長期の調査継続が期待できると思われた。

ただし、山田小学校前水路においては、河川水との相関が小さいことから現地調査したところ、物部川からの分水ではなかった。調査の趣旨から考えると地点の変更を検討する必要がある。

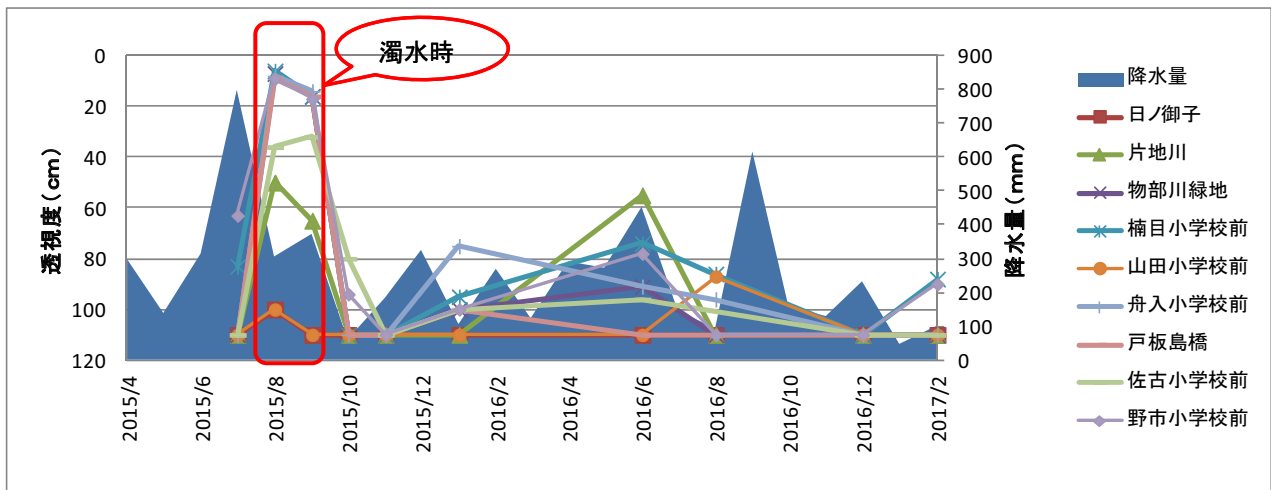


図12 透視度と降水量

表8 透視度の調査地点間の相関

	日ノ御子	片地川	物部川 緑地*	戸板島橋	楠目 小学校前	山田 小学校前	舟入 小学校前	佐古 小学校前	野市 小学校前
日ノ御子	1.000								
片地川	0.594	1.000							
物部川緑地	0.697	0.826	1.000						
戸板島橋	0.694	0.735	0.989	1.000					
楠目小学校前	0.674	0.833	0.960	0.940	1.000				
山田小学校前	0.310	0.040	0.102	0.120	0.207	1.000			
舟入小学校前	0.664	0.774	0.977	0.972	0.939	0.170	1.000		
佐古小学校前	0.605	0.740	0.949	0.947	0.883	0.605	0.927	1.000	
野市小学校前	0.647	0.786	0.924	0.909	0.949	-0.017	0.869	0.878	1.000

*物部川緑地の上流において各水路に取水

3. 2 簡易ろ過測定法

簡易ろ過測定法の結果を表9に示す。

2ヶ年の測定値の中央値は、日ノ御子1、片地川1、物部川緑地2、戸板島橋1であり、各小学校前の水路の地点については、2から5であった。また、物部川通常時の2016年度の平均値は、0.8から6.3となり、地点間で若干ばらつきがあった。楠目小学校前が6.3と高い理由としては、調査地点の上流で水門の工事が行われていたことが原因と考えられる。

2ヶ年の簡易ろ過測定結果と濁度の関係を図13

に示す。簡易ろ過測定法の上限が20であるため、濁度が20度を超えるデータを除外して評価したところ、強い相関が見られた。よって、この方法により透視度100cm以上の微妙な変化を濁度色見本で確認することができると考える。

しかし、濁度9度以下の濁りの少ない時の調査では、簡易ろ過測定は濁度よりも若干高い値を示した。濁度が低い河川水には、色度が簡易ろ過測定法に影響を与えることが考えられた。この測定法は色度が影響するため、濁度色見本は河川によって作成する必要があると思われる。

表9 簡易ろ過測定法の結果

	2015/6/23	2015/7/24	2015/9/4	2015/9/29	2015/10/16	2015/11/24	2016/1/15	2016/6/27	2016/8/31	2016/12/2	2017/2/27	2016年度 平均値	2015,2016 年度中央値
日ノ御子	0	2	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0.8	1.0
片地川	0	5	2	1	0	2	0	10	1	1	2	3.5	1.0
物部川緑地	1	20	20	1	2	2	7	7	1	1	5	3.5	2.0
戸板島橋	1	20	20	0	2	1	1	7	1	1	5	3.5	1.0
楠目小学校前	1	20	20	1	2	2	7	7	8	5	5	6.3	5.0
山田小学校前	2	2	2	1	2	2	5	5	1	1	1	2.0	2.0
舟入小学校前	2	20	20	1	2	5	7	7	2	2	5	4.0	5.0
佐古小学校前	1	10	20	5	2	2	1	7	-	1	1	3.0	2.0
野市小学校前	7	20	20	5	2	5	2	7	1	2	7	4.3	5.0

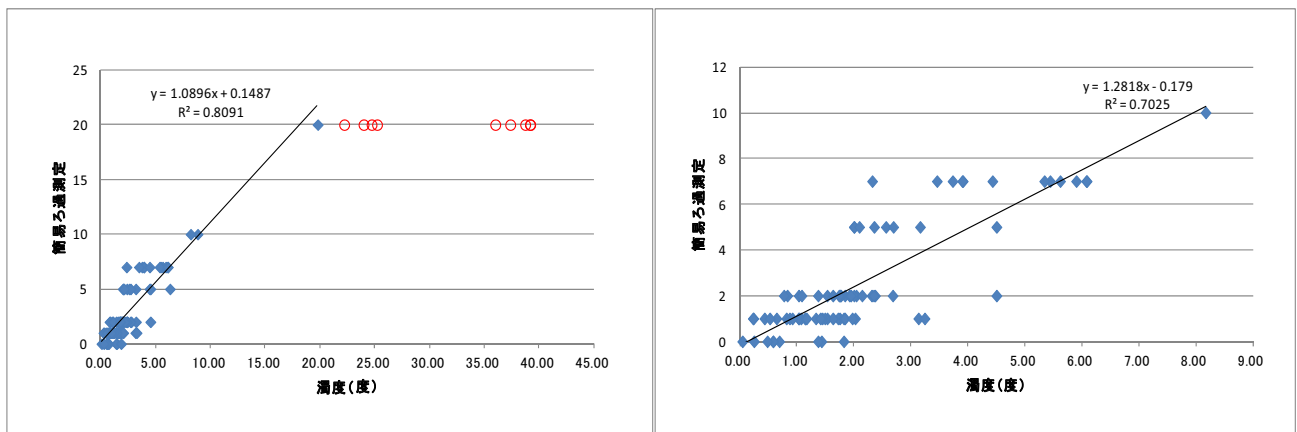


図13 簡易ろ過測定法と濁度（左：全測定値、右：濁度9度以下の測定値）

3. 3 簡易水生生物調査

水生生物調査の結果を表10に示す（四万十川方式による集計表は別途添付）。増水によって地点が水没した場合は、調査は行わなかった。

2016年度は、8、12月の日ノ御子において、4種類の水生生物が確認できた。物部川緑地と戸板島橋においては、4種の水生生物が生息可能と考

えられるが、水量が多い時期が多く、匍匐型の水生生物の生息場所が変わっていたと考える。また、片地川については、4種以外の水生生物も多種存在している地点であるが、もともと水量が少ないために天候や水温などに大きく影響を受けたのではないかと考える。

表10 簡易水生生物調査結果

指標生物	2015/6/23				2015/9/4		2015/9/29				2015/10/16				2015/11/24			2016/1/15			
	日ノ御子	片地川	物部川緑地	戸板島橋	日ノ御子	片地川	日ノ御子	片地川	物部川緑地	戸板島橋	日ノ御子	片地川	物部川緑地	戸板島橋	日ノ御子	片地川	戸板島橋	日ノ御子	片地川	物部川緑地	戸板島橋
ヒラタカゲロウ科		○		○	○				○	○	○	○	○	○			○	○	○		○
カワゲラ目	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○
ヒゲナガカワトビケラ科		○	○			○		○			○	○	○		○	○	○		○		○
コカゲロウ科	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○
種類数	2	4	2	2	3	3	2	3	3	3	4	4	4	3	4	3	3	3	4	1	4

指標生物	2016/6/27			2016/8/31				2016/12/2				2017/2/27			
	日ノ御子	片地川	戸板島橋	日ノ御子	片地川	物部川緑地	戸板島橋	日ノ御子	片地川	物部川緑地	戸板島橋	日ノ御子	片地川	物部川緑地	戸板島橋
ヒラタカゲロウ科	○	○		○		○	○	○				○	○		○
カワゲラ目	○	○		○				○	○	○	○	○	○	○	
ヒゲナガカワトビケラ科		○		○	○	○	○	○	○	○	○			○	○
コカゲロウ科	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
種類数	3	3	1	4	2	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3

* 水生生物が出現した場合に○を記入

4. まとめ

新たな調査手法を試みた2016年度の結果から、一番透視度が高かった時期は秋季の12月であり、すべての地点で100cm以上であった。一方、透視度が低かった時期は春季の6月であり、最低値は片地川の55cmであった。1年通して100cm以上であったのは日ノ御子のみであった。

簡易ろ過測定法については、2016年度の平均値が0.8から6.3となった。最高値の6.3は楠目小学校前であり、水門の工事の影響が考えられた。それ以外の地点については5.0以下であり、透視度100cm以上に相当する値であった。

水生生物調査については、4種類確認できたのは、2016年度は1地点2調査時のみであり、平均値は3.0前後であった。

透視度については、物部川本川と水路の値に強い相関があり、水路の透視度から本川の透視度が把握できると考えられた。また、簡易ろ過測定法は濁度と強い相関があることから、物部川のように濁りの発生しやすい河川においては、清流度よりも簡易に測定できる方法と考えられた。簡易水生生物調査の指標生物については、たくさんの種類は必要なく、4種類で河川の状況を確認できると考えられた。

2016年度の調査結果から、平均的な物部川の水質は、透視度は100cm以上、簡易ろ過測定法は5.0以下、水生生物調査は3.0前後となった。これらの方法を総合して判断することにより、水質評価はできると考えた。

この新調査方法は、河川の変化を簡易な方法で調査できることが利点である。低学年の子供たちをはじめ多くの人々が楽しく、長期間続けて調査できる方法として考えた。また、身近な場所での調査により物部川の状況を実感することができ、今後の行動にもつながると考える。

今後、より多くの人々が水質調査を実施することにより、物部川の水質への関心がより一層高まり、水質改善につながればと考えている。

- 2) 堀内泰男：物部川における底生動物相による水質評価，高知県環境研究センター所報，19，45-63，2002
- 3) 行弘恵，堀内泰男：平成17年9月豪雨による物部川の濁り発生とその回復状況について，高知県環境研究センター所報，24，25-38，2007

参考文献等

- 1) 貞岡秀俊ら：四万十川清流保全モニタリング状況について，高知県環境研究センター所報，29，43-53，2012

表 3 - 1 清流基準調査結果 (2011~2014年度)

地点	日付	時間	天気	気温 (℃)	水温 (℃)	臭気	色相	透明度 (cm)	清流度 (黒 m)	pH	EC (μS/cm)	濁度 (度)	色度 (度)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	クロロフィル (μg/L)	TOC濃度 (mg/L)
日の出橋 (横山川)	2011/5/9	10:08	晴れ	25.0	16.2	なし	無	>50	8.7	8.0	159.4	0.46	0.9	0.0	0.36	0.009	0.91	0.29
安丸 (上・生涯川)		10:51	曇り	26.5	15.1	なし	無	>50	5.7	8.4	114.2	1.04	0.3	0.4	0.73	0.011	2.37	0.23
大板橋		11:30	曇り	25.0	19.8	なし	茶緑	>50	-	9.1	106.2	5.25	5.5	11.2	0.72	0.060	48.18	1.45
在所橋		11:50	曇り	26.0	16.4	なし	茶緑	>50	-	8.7	114.3	4.21	1.9	1.4	0.58	0.006	1.61	0.49
日ノ御子(川ノ内川)		12:45	曇り	28.5	17.5	なし	無	>50	6.2	8.6	107.5	0.70	1.2	0.0	0.16	0.008	0.95	0.26
町田ダム		13:21	晴れ	26.2	18.4	なし	緑黄	>50	-	8.7	111.4	4.30	3.5	2.2	0.37	0.009	5.62	0.55
戸板島橋		13:56	晴れ	29.0	18.6	なし	茶黄	>50	1.5	9.2	106.5	3.51	3.3	2.0	0.41	0.011	3.27	0.51
野市		14:36	晴れ	26.5	19.1	なし	茶黄	>50	2.0	8.8	110.8	2.44	3.5	1.6	0.37	0.011	5.04	0.54
		15:20	曇り	27.0	20.2	なし	茶黄	>50	1.5	8.8	115.2	2.15	3.6	1.2	0.85	0.009	6.67	0.58
日の出橋 (横山川)		10:30	曇り	28.0	19.4	なし	無	>50	5.5	7.8	148.3	0.69	0.9	0.0	0.31	0.010	0.57	0.28
安丸 (上・生涯川)		11:15	曇り	28.5	20.3	なし	無	>50	2.2	8.0	111.0	2.04	1.1	2.2	0.30	0.013	1.10	0.31
大板橋		12:00	曇り	30.0	25.6	なし	黄	>50	-	8.9	100.9	3.29	1.1	2.6	0.25	0.024	10.76	0.76
在所橋		12:15	晴れ	31.0	22.0	なし	黄	>50	-	8.3	113.4	6.13	2.7	4.0	0.28	0.014	3.62	0.41
日ノ御子(川ノ内川)		12:35	晴れ	32.0	21.2	なし	無	>50	3.9	8.0	102.3	0.68	1.7	0.6	0.21	0.011	0.95	0.34
町田ダム		13:20	晴れ	28.5	24.1	なし	黄	>50	-	8.6	105.8	6.81	2.1	4.8	0.51	0.033	12.88	0.81
戸板島橋	2011/11/9	13:25	晴れ	32.0	23.8	なし	黄	>50	1.1	8.5	109.1	5.46	3.1	4.8	0.27	0.015	4.20	0.55
野市		13:50	晴れ	31.0	24.5	なし	茶黄	>50	1.3	8.4	113.5	4.89	3.0	4.0	0.30	0.012	3.58	0.49
		14:25	晴れ	33.0	25.7	なし	黄	>50	1.4	8.2	136.4	4.07	3.1	3.2	0.53	0.019	4.00	0.53
日の出橋 (横山川)		10:50	曇り	17.0	13.9	なし	無	>50	10.3	8.4	172.9	0.21	0.5	0.0	0.16	0.007	1.03	0.20
安丸 (上・生涯川)		10:10	曇り	17.5	13.4	なし	無	>50	10.5	8.3	105.7	0.33	0.4	0.0	0.19	0.010	1.73	0.24
大板橋		11:15	曇り	19.5	15.9	なし	無	>50	-	8.3	113.5	2.82	1.7	2.0	0.26	0.013	7.22	0.42
在所橋		11:50	曇り	19.0	15.5	なし	茶黄	>50	-	8.0	123.2	3.72	2.3	3.2	0.25	0.013	3.88	0.40
日ノ御子(川ノ内川)		12:35	曇り	19.5	15.7	なし	無	>50	9.6	8.5	106.0	0.31	9.8	0.0	0.13	0.008	1.19	0.34
町田ダム		13:00	曇り	20.0	16.1	なし	茶黄	23	-	7.9	122.9	10.96	4.4	9.0	0.32	0.024	5.20	0.38
戸板島橋		13:20	曇り	19.5	16.4	なし	黄	>50	1.0	8.5	119.4	7.70	3.3	4.8	0.26	0.016	1.70	0.40
野市		14:00	曇り	18.0	16.2	なし	黄	>50	1.1	8.8	120.6	4.92	3.0	3.2	0.27	0.013	1.82	0.43
		14:45	曇り	18.5	16.2	なし	黄	>50	1.6	9.0	127.1	3.57	2.8	1.4	0.24	0.013	1.78	0.38
日の出橋 (横山川)		10:00	晴れ	5.0	6.1	なし	無	>50	15.3	8.2	159.2	0.49	0.0	0.0	0.26	0.006	0.18	0.23
安丸 (上・生涯川)		10:45	晴れ	9.0	6.0	なし	無	>50	9.9	8.1	188.3	0.39	0.0	0.0	0.28	0.008	0.61	0.18
大板橋		11:25	晴れ	11.0	8.8	なし	黄緑	>50	-	8.0	124.8	2.53	1.6	1.2	0.36	0.009	0.74	0.45
在所橋		11:55	晴れ	13.0	7.9	なし	無	>50	-	7.9	118.3	2.86	1.9	1.0	0.30	0.011	1.29	0.41
日ノ御子(川ノ内川)	2012/2/28	12:40	晴れ	12.0	8.5	なし	無	>50	12.5	8.0	104.1	0.26	0.1	0.0	0.17	0.004	1.14	0.22
町田ダム		13:20	晴れ	13.0	8.8	なし	黄緑	>50	-	7.9	126.5	3.43	3.6	2.2	0.33	0.014	1.48	0.51
戸板島橋		13:55	曇り	13.5	9.9	なし	黄緑	>50	1.5	8.1	120.6	3.42	3.1	2.8	0.36	0.014	0.79	0.46
野市		14:20	曇り	15.0	10.0	なし	無	>50	2.2	8.1	126.8	2.63	2.7	2.0	0.35	0.012	0.95	0.48
		15:05	曇り	13.5	10.6	なし	無	>50	2.5	8.4	127.6	2.30	2.5	2.2	0.32	0.013	0.57	0.48
日の出橋 (横山川)		10:16	晴れ	24.0	17.4	なし	無	>50	3.7	8.6	158.4	0.41	1.2	0.2	0.38	0.005	0.9	0.45
安丸 (上・生涯川)		11:13	晴れ	26.0	15.2	なし	無	>50	9.5	8.0	119.7	0.31	1.1	1.0	0.35	0.008	2.0	0.28
大板橋		11:50	晴れ	26.5	18.4	なし	無	>50	-	8.4	111.7	1.81	2.4	4.8	0.34	0.006	2.3	0.69
在所橋		12:50	晴れ	27.0	17.8	なし	無	>50	-	8.0	116.8	2.28	3.0	4.0	0.30	0.008	1.8	0.58
日ノ御子(川ノ内川)		13:15	晴れ	26.5	18.4	なし	無	>50	7.3	8.0	109.8	0.49	1.8	2.0	0.25	0.006	0.2	0.40
町田ダム		13:50	晴れ	25.0	20.4	なし	無	>50	-	8.6	114.8	3.27	3.5	3.0	0.37	0.012	3.7	0.89
戸板島橋		14:20	晴れ	28.0	22.2	なし	無	>50	3.6	9.1	112.8	1.92	4.0	5.8	0.34	0.008	2.6	0.95
野市		14:50	晴れ	25.0	25.0	なし	無	>50	5.2	8.5	119.1	0.82	2.5	1.4	0.38	0.008	0.7	0.60
		15:40	晴れ	25.5	25.5	なし	無	>50	3.0	7.9	132.8	1.38	3.4	1.8	0.73	0.032	0.8	0.61

地点	日付	時間	天気	気温 (℃)	水温 (℃)	臭気	色相	透明度 (cm)	清流度 (黒m)	pH	EC (μS/cm)	濁度 (度)	色度 (度)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	クロロフィル (μg/L)	TOC濃度 (mg/L)
日の出橋 (横山川)		13:02	晴れ	23.0	14.7	なし	灰白	>50	0.7	7.5	141.9	6.66	7.0	7.4	0.41	0.024	0.3	0.21
安丸 (上韭生川)		13:38	晴れ	25.5	17.2	なし	灰白	44	0.5	7.6	107.6	9.92	8.4	16.0	0.41	0.047	0.9	0.23
大板橋		14:19	晴れ	26.0	18.9	なし	灰白	-	-	7.6	106.1	78.06	64.2	66.0	0.45	0.206	9.0	0.53
在所橋		14:41	晴れ	27.8	18.0	なし	灰白	-	-	7.8	113.9	79.66	54.4	61.0	0.44	0.101	2.1	0.32
日ノ御子(川ノ内川)	2012/9/25	11:40	快晴	29.0	14.8	なし	無	>50	6.0	7.4	98.5	0.90	1.3	0.6	0.33	0.026	1.6	0.24
杉田ダム		11:10	快晴	29.5	17.3	土臭	灰白	8	-	7.6	110.8	76.26	66.0	39.5	0.47	0.095	2.6	0.52
町田堰		10:45	快晴	28.0	19.6	土臭	灰白	7	0.5	7.4	108.8	82.34	63.2	58.5	0.39	0.104	7.1	0.39
戸板島橋		10:20	快晴	26.5	19.6	なし	灰白	7	0.5	7.2	117.5	75.52	59.4	55.0	0.50	0.155	1.9	0.37
野市		9:30	快晴	26.5	19.5	なし	灰白	12	0.5	7.0	94.8	61.68	39.6	40.0	0.70	0.110	2.3	0.38
日の出橋 (横山川)		10:25	曇り	4.5	6.3	なし	無	>50	13.8	8.0	149.9	1.35	0.1	0.0	0.29	0.004	<0.1	0.22
安丸 (上韭生川)		11:30	曇り	7.0	6.7	なし	無	>50	3.8	7.8	108.5	2.25	1.6	2.4	0.33	0.011	0.8	0.21
大板橋		12:15	曇り	8.5	9.2	なし	黄緑	>50	-	7.8	121.0	5.13	5.7	3.8	0.35	0.014	1.6	0.38
在所橋		12:30	曇り	8.5	9.1	なし	灰白	>50	-	7.7	121.9	6.25	5.7	5.2	0.30	0.011	1.3	0.42
日ノ御子(川ノ内川)	2012/12/5	13:15	曇り	9.0	8.9	なし	無	>50	13.2	8.1	99.1	0.24	1.0	0.0	0.19	0.002	0.6	0.24
杉田ダム		13:50	曇り	10.5	9.8	泥臭	黄緑	>50	-	7.1	127.5	7.03	9.5	7.4	0.33	0.010	1.0	0.61
町田堰		14:15	曇り	9.5	9.6	なし	白緑	>50	1.3	8.0	117.4	5.68	5.9	4.4	0.33	0.014	1.0	0.41
戸板島橋		14:40	曇り	9.8	9.8	なし	白緑	>50	1.5	8.1	120.9	5.00	4.9	3.8	0.32	0.008	1.2	0.40
野市		15:30	曇り	9.5	9.8	なし	白緑	>50	1.5	7.8	119.5	3.23	4.3	2.4	0.31	0.002	2.7	0.43
日の出橋 (横山川)		10:40	曇り一時晴れ	9.8	6.6	なし	無	>50	8.6	8.4	158.4	1.19	0.2	0.5	0.31	0.002	0.8	0.22
安丸 (上韭生川)		10:10	曇り一時晴れ	8.0	5.6	なし	無	>50	5.6	8.0	109.2	0.77	0.6	0.0	0.32	0.007	0.6	0.20
大板橋		11:20	曇り	10.5	7.1	なし	無	>50	-	8.2	115.1	4.79	3.1	3.6	0.35	0.008	4.4	0.40
在所橋		12:05	曇り一時晴れ	12.0	7.0	なし	無	>50	-	8.3	117.0	3.54	4.7	4.0	0.36	0.004	1.5	0.35
日ノ御子(川ノ内川)	2013/2/26	12:30	曇り	12.0	7.4	なし	無	>50	10.9	8.1	93.5	0.21	0.2	0.5	0.19	0.002	1.1	0.29
杉田ダム		12:45	曇り	13.5	7.2	なし	黄緑	>50	-	8.0	114.9	5.90	7.6	3.8	0.61	0.003	2.5	0.41
町田堰		13:10	曇り	11.0	7.7	なし	灰茶	>50	1.1	8.1	114.2	6.76	3.3	4.2	0.30	<0.001	2.0	0.42
戸板島橋		13:20	曇り一時小雨	11.0	7.4	なし	無	>50	1.1	7.9	113.5	6.08	4.2	3.6	0.39	0.001	2.0	0.41
野市		13:40	曇り一時小雨	11.0	8.5	なし	無	>50	1.3	8.3	120.5	3.28	5.4	1.8	0.33	0.008	1.2	0.39
日の出橋 (横山川)		10:15	晴れ	28.5	19.8	なし	無	>50	7.1	7.6	162.6	0.09	1.2	0.6	0.24	0.004	0.7	0.27
安丸 (上韭生川)		10:40	晴れ	31.5	17.4	なし	無	>50	8.2	7.8	125.7	0.41	1.5	0.6	0.24	0.008	1.3	0.20
大板橋		11:30	晴れ	26.5	18.4	なし	緑	>50	-	7.7	128.0	2.40	2.6	1.8	0.30	0.004	3.0	0.40
在所橋		12:50	晴れ	29.0	22.1	なし	無	>50	-	7.7	129.7	1.41	3.0	2.0	0.34	0.004	4.6	0.48
日ノ御子(川ノ内川)	2013/5/23	13:15	晴れ	26.5	18.4	なし	無	>50	5.4	7.8	126.0	0.55	1.1	0.7	0.20	0.007	0.9	0.33
杉田ダム		13:50	晴れ	25.0	20.4	なし	緑	>50	-	8.0	121.7	2.29	2.8	2.9	0.29	0.011	11.7	0.74
町田堰		14:20	晴れ	28.0	22.2	なし	無	>50	2.5	8.9	125.7	1.40	2.8	1.8	0.36	0.004	2.4	0.73
戸板島橋		14:50	晴れ	25.0	25.0	なし	無	>50	3.3	8.1	125.1	0.92	3.5	1.0	0.49	0.016	1.5	0.52
野市		15:40	晴れ	25.5	25.5	なし	無	>50	3.5	8.4	198.1	0.54	2.8	1.0	0.63	0.008	1.6	0.55
日の出橋 (横山川)		10:45	曇り	21.3	20.3	なし	無	>50	4.4	7.9	178.0	0.55	1.6	0.4	0.28	0.010	0.8	0.28
安丸 (上韭生川)		11:25	曇り	22.0	18.5	なし	無	>50	10.2	7.7	133.0	0.49	0.9	0.1	0.38	0.010	1.0	0.11
大板橋		12:12	曇り	22.0	24.2	なし	白濁	>50	-	7.7	158.0	4.90	5.0	4.5	0.23	0.013	8.4	0.65
在所橋		13:25	曇り	28.5	23.8	なし	白濁	>50	-	7.8	157.0	5.72	7.9	8.9	0.60	0.038	4.7	0.58
日ノ御子(川ノ内川)	2013/8/29	13:42	曇り	29.8	22.2	なし	無	>50	7.0	7.1	123.0	0.96	1.0	0.9	0.22	0.008	0.7	0.20
杉田ダム		14:23	晴れ	30.5	26.6	なし	薄緑	>50	-	7.8	133.0	2.66	4.6	2.7	0.36	0.022	4.0	0.89
町田堰		14:45	晴れ	30.8	26.5	なし	無	>50	1.7	7.9	143.0	2.64	4.9	1.2	0.29	0.010	3.2	0.69
戸板島橋		15:00	曇り	31.2	27.2	なし	無	>50	1.9	8.2	147.0	1.50	1.5	1.0	0.44	0.010	1.9	0.55
野市		15:42	晴れ	31.1	27.6	なし	無	>50	3.2	8.1	149.0	0.92	0.9	0.8	0.64	0.008	2.8	0.43

地点	日付	時間	天気	気温 (℃)	水温 (℃)	臭気	色相	透視度 (cm)	清流量 (黒・m)	pH	EC (μS/cm)	濁度 (度)	色度 (度)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	クロロフィル (μg/L)	TOC濃度 (mg/L)
日の出橋 (横山川)	2013/12/3	10:15	晴れ	4.0	6.7	なし	無	>50	18.0	7.9	164.3	0.18	1.2	0.1	0.25	0.005	0.5	0.07
安丸 (上・並生川)		10:55	晴れ	1.5	7.4	なし	無	>50	0.6	8.0	121.3	1.57	0.7	1.4	0.35	0.010	0.4	0.10
大板橋		11:45	晴れ	11.0	10.4	なし	白濁	>50	-	7.8	125.3	2.52	3.3	4.5	0.35	0.005	1.1	0.25
在所橋		12:20	晴れ	14.5	10.1	なし	白濁	>50	-	7.7	122.7	2.87	2.9	6.9	0.29	0.010	0.9	0.28
日ノ御子(川ノ内川)		12:45	晴れ	11.0	9.7	なし	無	>50	12.7	7.6	98.1	0.14	1.0	0.9	0.23	0.008	0.4	0.20
杉田ダム		13:15	晴れ	14.8	10.4	なし	薄緑	>50	-	7.7	116.7	3.59	4.6	2.7	0.35	0.010	4.0	0.37
町田堰		13:35	晴れ	17.0	17.0	なし	無	>50	2.8	8.8	114.6	2.67	4.9	1.2	0.31	0.007	1.8	0.36
戸板島橋		13:50	晴れ	16.0	16.0	なし	無	>50	1.6	8.6	120.4	1.63	1.5	1.0	0.32	0.008	1.3	0.36
野市		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
日の出橋 (横山川)	2014/2/24	10:20	晴れ	4.0	5.9	なし	無	>50	12.0	7.5	198.7	0.38	0.8	0.1	0.12	0.001	0.8	0.16
安丸 (上・並生川)		10:55	晴れ	7.0	5.9	なし	無	>50	7.8	7.4	130.5	0.48	0.8	0.2	0.30	0.008	0.8	0.13
大板橋		11:30	晴れ	11.0	6.6	なし	無	>50	-	7.1	133.5	1.92	1.9	1.6	0.25	0.007	1.5	0.26
在所橋		12:00	晴れ	13.0	7.0	なし	無	>50	-	7.1	127.3	2.03	1.6	1.3	0.20	0.004	1.9	0.36
日ノ御子(川ノ内川)		12:20	晴れ	12.0	7.5	なし	無	>50	10.6	7.3	125.8	0.58	0.3	0.1	0.16	0.004	0.4	0.19
杉田ダム		13:25	晴れ	13.0	8.6	なし	無	>50	-	7.3	97.2	3.35	1.1	1.4	0.24	0.005	1.3	0.23
町田堰		13:55	晴れ	14.0	9.6	なし	無	>50	2.7	7.5	317.0	1.91	2.0	1.7	0.28	0.010	1.3	0.30
戸板島橋		14:10	晴れ	17.0	11.0	なし	無	>50	4.8	7.6	242.0	1.86	0.5	1.1	0.47	0.007	1.1	0.31
野市		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
日の出橋 (横山川)	2014/8/26	11:35	晴れ	32.5	19.8	なし	無	>50	7.1	8.2	134.8	2.60	2.9	2.9	0.16	0.014	1.1	0.29
安丸 (上・並生川)		12:35	晴れ	33.5	19.6	なし	無	>50	8.2	8.2	106.4	0.86	1.6	1.6	0.13	0.007	0.1	0.24
大板橋		13:05	晴れ	34.0	27.4	なし	緑	>50	-	8.5	68.6	3.71	3.1	0.9	0.12	0.005	11.0	0.54
日ノ御子(川ノ内川)		14:05	晴れ	31.5	22.4	なし	無	>50	5.4	7.9	52.0	1.11	2.2	1.4	0.08	0.005	0.1	0.22
杉田ダム		14:45	曇り	32.5	23.6	なし	緑	>50	-	7.8	91.0	6.82	8.2	8.2	0.13	0.017	3.9	0.53
戸板島橋		15:20	晴れ	32.5	23.9	なし	無	>50	3.3	7.9	100.9	8.51	9.2	9.3	0.12	0.011	1.1	0.41
蔵福寺島		15:57	晴れ	32.5	23.0	なし	無	>50	3.5	8.0	102.8	8.45	8.6	8.0	0.18	0.013	1.0	0.41
日の出橋 (横山川)		10:56	晴れ	6.0	5.6	なし	無	>50	10.2	8.5	161.1	0.49	0.1	1.3	0.13	0.007	0.1	0.11
安丸 (上・並生川)		11:28	晴れ	7.5	6.8	なし	無	>50	-	8.3	116.5	4.90	0.1	1.2	0.13	0.004	0.1	0.65
大板橋		11:50	晴れ	12.0	9.5	なし	無	>50	-	8.4	138.3	5.72	1.6	3.2	0.10	0.005	7.0	0.58
日ノ御子(川ノ内川)	2014/12/24	13:05	晴れ	12.0	8.5	なし	白	>50	7.0	8.6	91.7	0.96	0.3	1.1	0.08	0.005	0.6	0.20
杉田ダム		13:27	曇り	8.5	9.3	なし	薄白	>50	-	8.4	117.4	2.66	5.2	8.2	0.16	0.008	4.0	0.89
戸板島橋		13:51	曇り	11.0	10.1	なし	無	>50	1.7	8.2	115.7	2.64	6.3	9.2	0.11	0.007	1.1	0.69
蔵福寺島		14:12	曇り	14.0	10.4	なし	無	>50	1.9	8.3	122.4	1.50	4.9	7.4	0.14	0.011	0.9	0.55
日の出橋 (横山川)		10:45	曇り	7.0	4.9	なし	無	>50	7.8	8.2	169.0	0.14	0.3	0.2	0.18	0.008	0.6	0.28
安丸 (上・並生川)		11:17	曇り	8.0	5.8	なし	無	>50	-	8.6	116.3	0.32	0.4	1.6	0.10	0.005	1.4	0.08
大板橋		11:39	曇り	7.0	6.3	なし	薄緑	>50	-	8.3	126.4	2.03	2.1	1.3	0.10	0.007	8.3	0.25
日ノ御子(川ノ内川)		13:00	曇り	8.0	7.8	なし	無	>50	10.6	8.3	104.9	0.18	1.1	0.1	0.05	0.008	0.8	0.15
杉田ダム		13:27	曇り	7.6	7.6	なし	薄緑	>50	-	8.3	121.1	1.86	2.2	1.4	0.08	0.010	4.7	0.35
戸板島橋		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
蔵福寺島		14:00	晴れ	12.0	9.8	なし	無	>50	4.8	8.4	131.4	0.75	1.6	1.1	0.10	0.008	4.3	0.35

表 3 - 2 清流基準調査結果 (2011~2014年度)

No	指標生物	スコア値	2011/5/9					2011/8/3					2011/11/9					2012/2/28				
			安丸	日ノ御子	町田堰	戸板島橋	野市	安丸	日ノ御子	町田堰	戸板島橋	野市	安丸	日ノ御子	町田堰	戸板島橋	野市	安丸	日ノ御子	町田堰	戸板島橋	野市
1	アミカ	10																				
2	サワガニ	9	9	9					9													
3	チラカゲロウ	9																9	9			
4	ヒラタカゲロウ	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9						9	9	9	9	9	
5	カワゲラ	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9						9	9	9	9	9	
6	ナガレトビケラ	9																9	9			
7	携巢性トビケラ	9							9													
8	ヘビトンボ	9			9																	
9	ヨコエビ	9																				
10	タニガワカゲロウ	8	8		8	8	8	8	8	8	8						8					
11	マダラカゲロウ	8							8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
12	ヒゲナガカワトビケラ	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
13	ナガレアブ	8																				
14	カワニナ	8									8											
15	モンカゲロウ	7				7																
16	サナエトンボ	7																				
17	ナベアブタムシ	7																				
18	シマトビケラ	7		7	7	7	7			7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
19	ガガンボ	7										7										
20	プユ	7		7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
21	テナガエビ	7																				
22	ブラナリア	7																				
23	コカゲロウ	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
24	キイロカワカゲロウ	6																		6		
25	ヒラタドロムシ	6		6			6										6					
26	ホタル	6																				
27	スジエビ	6														6	6					
28	モクズガニ	6													6	6			6	6	6	
29	イシマキガイ	6																				
30	アミメカゲロウ	5										5									5	
31	タイコウチ・ミズカマキリ	5																				
32	シジミガイ	5				5			5	5	5					5						
33	タニシ	4																				
34	モノアラガイ	3																				
35	ヒル	2		2						2										2		
36	ミズムシ	2																				
37	アメリカザリガニ	1																				
38	赤いユスリカ (腹鰐アリ)	1																				
39	サカマキガイ	1																				
40	イトミミズ	1																				
	TS		41	63	63	66	46	39	59	28	52	28	45	30	36	34	65	74	66	16	53	33
	種類数		5	9	8	9	6	5	7	5	7	4	6	4	5	5	9	9	8	3	7	5
	ASPT値		8.2	7.0	7.9	7.3	7.7	7.8	8.4	5.6	7.4	7.0	7.5	7.5	7.2	6.8	7.2	8.2	8.3	5.3	7.6	6.6
	水質階級		5	2	2	2	4	5	3	5	3	6	4	6	5	5	2	2	2	6	3	6

No	指標生物	スコア値	2012/5/17				2012/9/25				2012/12/5				2013/2/26				2013/5/23			
			安丸	日ノ御子	町田堰	戸板島橋	野市	安丸	日ノ御子	戸板島橋	野市	安丸	日ノ御子	野市	安丸	日ノ御子	戸板島橋	野市	安丸	日ノ御子	戸板島橋	野市
1	アミカ	10																				
2	サワガニ	9														9						
3	チラカゲロウ	9						9								9						
4	ヒラタカゲロウ	9	9	9	9	9	9		9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
5	カワゲラ	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
6	ナガレトビケラ	9	9	9	9	9	9				9					9	9	9	9	9	9	
7	携帯性トビケラ	9							9							9	9	9	9		9	
8	ヘビトンボ	9														9						
9	ヨコエビ	9					9															
10	タニガワカゲロウ	8				8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
11	マダラカゲロウ	8	8	8	8	8	8	8	8							8	8	8	8	8	8	
12	ヒゲナガカワトビケラ	8	12	8	8	8	8	8	8							8	8	8	8	8	8	
13	ナガレアブ	8										8										
14	カワニナ	8																				
15	モンカゲロウ	7	7	7		7	7					7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
16	サナエトンボ	7																				
17	ナベアブタムシ	7																				
18	シマトビケラ	7								7						7	7	7	7			
19	ガガンボ	7														7	7	7	7			
20	フユ	7		7												7	7	7	7			
21	テナガエビ	7									7											
22	プラナリア	7																				
23	コカゲロウ	6					6		6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
24	キイロカワカゲロウ	6											6									
25	ヒラタドロムシ	6							6							6				6	6	
26	ホタル	6																				
27	スジエビ	6								6												
28	モクズガニ	6																				
29	イシマキガイ	6																				
30	アミメカゲロウ	5																				
31	タイコウチ・ミズカマキリ	5																				
32	シジミガイ	5								5												
33	タニシ	4																				
34	モノアラガイ	3																				
35	ヒル	2					2													2	2	
36	ミズムシ	2																		2	2	
37	アメリカザリガニ	1																				
38	赤いユスリカ (腹鰓アリ)	1																				
39	サカマキガイ	1																				
40	イトミミズ	1							1		1											
	T S		42	39	43	52	39	26	47	36	42	45	87	45	100	54	64	61	58			
	種類数		5	5	5	7	5	3	7	5	6	6	12	6	3	7	8	9	8			
	ASPT値		8.4	7.8	8.6	7.4	7.8	8.7	6.7	7.2	7.0	7.5	7.3	7.5	8.3	7.7	8.0	6.8	7.3			
	水質階級		5	5	5	3	5	6	3	5	4	4	2	4	6	2	1	3	2			

No	指標生物	スコア値	2013/8/29			2013/12/3			2014/2/24			2014/8/26					
			安丸	日ノ御子	戸板島橋	野市	安丸	日ノ御子	戸板島橋	安丸	日ノ御子	戸板島橋	別府溪	日の出橋	安丸	日ノ御子	戸板島橋
1	アミカ	10					10										
2	サワガニ	9		9				9						9			
3	チラカゲロウ	9								9					9		
4	ヒラタカゲロウ	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
5	カワゲラ	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
6	ナガレトビケラ	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9				
7	携巢性トビケラ	9	9	9	9	9	9	9					9	9	9	9	
8	ヘビトンボ	9	9						9					9	9		
9	ヨコエビ	9															
10	タニガワカゲロウ	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
11	マダラカゲロウ	8	8	8	8	8	8	8	8	8				8	8		8
12	ヒゲナガカワトビケラ	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
13	ナガレアブ	8															
14	カワニナ	8															
15	モンカゲロウ	7															
16	サナエトンボ	7															
17	ナベアブタムシ	7															
18	シマトビケラ	7	7	7	7	7	7	7	7	7				7	7	7	
19	ガガンボ	7	7	7				7		7	7	7		7	7		
20	ブユ	7	7	7													
21	テナガエビ	7															
22	プラナリア	7															
23	コカゲロウ	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
24	キイロカワカゲロウ	6															
25	ヒラタドロムシ	6															
26	ホタル	6															
27	スジエビ	6				6										6	
28	モクズガニ	6															
29	イシマキガイ	6															
30	アミメカゲロウ	5															
31	タイコウチ・ミズカマキリ	5															
32	シジミガイ	5				5			5								5
33	タニシ	4															
34	モノアラガイ	3															
35	ヒル	2										2				2	
36	ミズムシ	2															
37	アメリカザリガニ	1															
38	赤いユスリカ (腹鰓アリ)	1															
39	サカマキガイ	1															
40	イトミミズ	1															
	TS		81	87	56	75	67	80	70	88	81	58	41	89	81	54	45
	種類数		10	11	7	10	8	10	9	11	10	8	5	11	10	8	6
	ASPT値		8.1	7.9	8.0	7.5	8.4	8.0	7.8	8.0	8.1	7.3	8.2	8.1	8.1	6.8	7.5
	水質階級		1	1	2	1	1	1	2	1	1	2	5	1	1	2	4

No	指標生物	スコア値	2014/12/24				2015/2/18							
			別府溪	日の出橋	安丸	日ノ御子	戸板島橋	蔵福寺島	別府溪	日の出橋	安丸	日ノ御子	蔵福寺島	出現回数
1	アミカ	10												3
2	サワガニ	9			9					9	9			10
3	チラカゲロウ	9				9						9		8
4	ヒラタカゲロウ	9		9	9		9		9	9	9			49
5	カワゲラ	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	57
6	ナガレトビケラ	9	9						9				9	24
7	携巢性トビケラ	9	9	9	9	9		9	9	9	9	9		27
8	ヘビトンボ	9		9	9	9			9		9	9		12
9	ヨコエビ	9												2
10	タニガワカゲロウ	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		43
11	マダラカゲロウ	8	8		8	8	8	8	8	8	8	8		40
12	ヒゲナガカワトビケラ	8			8				8	8				39
13	ナガレアブ	8											1	1
14	カワニナ	8												1
15	モンカゲロウ	7												12
16	サナエトンボ	7				7						7		2
17	ナベアブタムシ	7					7							3
18	シマトビケラ	7			7		7	7	7	7	7	7	7	34
19	ガガンボ	7												12
20	フユ	7			7	7			7	7	7	7		27
21	テナガエビ	7												3
22	プラナリア	7					7							1
23	コカゲロウ	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	53
24	キイロカワカゲロウ	6												2
25	ヒラタドロムシ	6					6	6						9
26	ホタル	6												0
27	スジエビ	6											6	6
28	モクズガニ	6												4
29	イシマキガイ	6												0
30	アミメカゲロウ	5												2
31	タイコウチ・ミズカマキリ	5												0
32	シジミガイ	5											5	9
33	タニシ	4												0
34	モノアラガイ	3												0
35	ヒル	2					2							8
36	ミズムシ	2												2
37	アメリカザリガニ	1												0
38	赤いユスリカ (腹鰐アリ)	1												0
39	サカマキガイ	1												0
40	イトミミズ	1												3
	TS		49	41	89	72	69	45	81	87	89	72	42	
	種類数		6	5	11	9	10	6	10	11	11	9	6	7.58
	ASPT値		8.2	8.2	8.1	8.0	6.9	7.5	8.1	7.9	8.1	8.0	7.0	7.64
	水質階級		4	5	1	2	3	4	1	1	1	2	4	

表 7 新調査法調査結果

地点	日付	時間	天気	気温 (°C)	水温 (°C)	透明度 (cm)	pH	EC ($\mu S/cm$)	濁度 (度)	色度 (度)	簡易ろ過測定	簡易 水生生物
日ノ御子	2015/6/23	1010	曇り	22.0	18.3	>100	6.9	97.1	0.69	1.87	0	2
片地川	2015/6/23	1100	曇り	25.0	19.6	>100	7.3	116.7	1.43	5.20	0	4
物部川緑地	2015/6/23	1128	曇り	24.5	19.5	>100	7.7	108.5	1.75	3.63	1	2
楠目小学校前	2015/6/23	1145	曇り	26.0	20.2	83	7.5	109.9	2.02	4.34	1	
山田小学校前	2015/6/23	1212	曇り	25.0	19.0	>100	8.2	68.4	2.37	6.33	2	
舟入小学校前	2015/6/23	1330	曇り	25.5	21.1	>100	7.9	112.8	2.04	4.31	2	
戸板島橋	2015/6/23	1345	曇り	25.5	21.0	>100	7.8	113.3	1.72	3.63	1	2
佐古小学校前	2015/6/23	1420	曇り	28.0	21.2	>100	7.8	108.1	3.13	7.39	1	
野市小学校前	2015/6/23	1437	曇り	26.5	21.0	63	7.9	111.0	5.44	9.40	7	
日ノ御子	2015/7/24	1035	晴れ	26.0	18.7	100	7.7	70.4	0.28	0.00	5	
片地川	2015/7/24	1120	晴れ	27.2	21.5	50	7.9	96.3	4.43	9.15	5	
物部川緑地	2015/7/24	1145	晴れ	29.0	19.4	7	7.8	111.3	39.15	77.06	20	
楠目小学校前	2015/7/24	1315	晴れ	28.5	20.3	6	7.8	93.1	39.17	76.70	20	
山田小学校前	2015/7/24	1340	晴れ	33.0	23.0	100	7.2	84.1	2.74	6.11	2	
舟入小学校前	2015/7/24	1400	晴れ	33.2	22.0	8	7.5	100.6	38.71	73.70	20	
戸板島橋	2015/7/24	1420	晴れ	28.0	21.2	9	7.8	101.8	35.98	59.43	20	
佐古小学校前	2015/7/24	1440	晴れ	33.0	24.9	36	7.8	86.9	8.81	15.40	10	
野市小学校前	2015/7/24	1455	晴れ	34.1	22.6	9	7.6	89.7	37.35	68.62	20	
日ノ御子	2015/9/4	1135	曇り	25.0	19.7	>100	7.8	77.7	0.70	2.27	1	3
片地川	2015/9/4	1255	曇り	29.0	22.1	65	7.7	90.7	3.18	7.84	2	3
物部川緑地	2015/9/4	1320	曇り	30.0	19.1	16	6.8	89.7	25.19	29.33	20	
楠目小学校前	2015/9/4	1340	晴れ	31.0	20.6	16	6.9	98.4	24.69	27.98	20	
山田小学校前	2015/9/4	1405	晴れ	35.0	21.0	>100	7.1	66.7	2.39	6.82	2	
舟入小学校前	2015/9/4	1430	晴れ	32.0	22.1	14	7.5	92.6	23.96	27.88	20	
戸板島橋	2015/9/4	1445	晴れ	28.5	21.5	16	7.0	95.7	22.19	23.00	20	
佐古小学校前	2015/9/4	1505	晴れ	29.0	22.8	32	7.4	84.7	9.09	17.25	20	
野市小学校前	2015/9/4	1520	晴れ	31.5	22.1	17	7.6	95.3	19.77	24.20	20	
日ノ御子	2015/9/29	1305	晴れ	25.0	20.5	>100	8.1	97.4	0.58	1.99	0	2
片地川	2015/9/29	1335	晴れ	30.0	21.8	>100	8.1	120.6	1.82	5.60	1	3
物部川緑地	2015/9/29	1355	晴れ	31.5	21.7	>100	8.1	111.0	1.53	3.01	1	3
楠目小学校前	2015/9/29	1410	曇り	32.0	21.0	>100	8.1	111.1	1.63	3.38	1	
山田小学校前	2015/9/29	1430	曇り	32.0	19.9	>100	8.3	67.5	1.03	3.67	1	
舟入小学校前	2015/9/29	1440	曇り	32.0	21.1	>100	8.2	110.7	1.84	3.87	1	
戸板島橋	2015/9/29	1450	曇り	28.0	21.4	>100	7.9	114.6	1.37	2.61	0	3
佐古小学校前	2015/9/29	1510	曇り	28.0	20.7	80	8.0	106.0	4.50	8.19	5	
野市小学校前	2015/9/29	1520	曇り	28.0	21.7	94	7.7	115.7	2.00	3.85	5	
日ノ御子	2015/10/16	1055	晴れ	25.0	20.5	>100	8.1	97.4	0.58	1.99	0	4
片地川	2015/10/16	1125	晴れ	30.0	21.8	>100	8.1	120.6	1.82	5.60	0	4
物部川緑地	2015/10/16	1145	晴れ	31.5	21.7	>100	8.1	111.0	1.53	3.01	2	4
楠目小学校前	2015/10/16	1205	曇り	32.0	21.0	>100	8.1	111.1	1.63	3.38	2	
山田小学校前	2015/10/16	1320	曇り	32.0	19.9	>100	8.3	67.5	1.03	3.67	2	
舟入小学校前	2015/10/16	1330	曇り	32.0	21.1	>100	8.2	110.7	1.84	3.87	2	
戸板島橋	2015/10/16	1450	曇り	28.0	21.4	>100	7.9	114.6	1.37	2.61	2	3
佐古小学校前	2015/10/16	1510	曇り	28.0	20.7	80	8.0	106.0	4.50	8.19	2	
野市小学校前	2015/10/16	1520	曇り	28.0	21.7	94	7.7	115.7	2.00	3.85	2	

地点	日付	時間	天気	気温 (℃)	水温 (℃)	透視度 (cm)	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	濁度 (度)	色度 (度)	簡易ろ過測定	簡易 水生生物
日ノ御子	2015/11/24	1305	晴れ	17.5	15.8	>100	7.4	102.1	0.43	2.11	1	4
片地川	2015/11/24	1340	晴れ	19.0	17.9	>100	7.5	136.8	1.92	6.40	2	3
物部川緑地	2015/11/24	1355	晴れ	19.5	15.8	>100	7.2	127.0	1.77	1.77	2	
楠目小学校前	2015/11/24	1405	晴れ	20.5	15.8	>100	7.6	127.2	1.76	3.15	2	
山田小学校前	2015/11/24	1415	晴れ	19.0	15.7	>100	8.2	70.9	0.83	3.89	2	
舟入小学校前	2015/11/24	1425	晴れ	19.5	16.5	>100	7.8	124.6	1.75	3.28	2	
戸板島橋	2015/11/24	1440	晴れ	18.0	17.2	>100	7.8	131.5	1.07	2.84	1	3
佐古小学校前	2015/11/24	1455	晴れ	20.0	16.2	>100	7.7	126.6	2.31	7.90	2	
野市小学校前	2015/11/24	1505	晴れ	20.0	16.4	>100	7.7	127.9	3.16	5.87	5	
日ノ御子	2016/1/15	1330	晴れ	8.0	7.5	>100	8.3	108.4	0.04	0.44	0	3
片地川	2016/1/15	1420	晴れ	9.0	7.4	>100	8.3	139.8	0.48	2.56	0	4
物部川緑地	2016/1/15	1440	晴れ	9.0	8.4	100	8.6	116.5	3.73	3.88	7	1
楠目小学校前	2016/1/15	1500	晴れ	9.0	8.0	95	8.1	118.6	3.91	3.76	7	
山田小学校前	2016/1/15	1515	曇り	10.0	8.1	>100	7.7	63.5	0.77	3.48	2	
舟入小学校前	2016/1/15	1525	曇り	10.5	8.2	75	8.5	171.3	3.90	3.90	7	
戸板島橋	2016/1/15	1550	曇り	10.0	9.1	100	8.9	118	1.49	1.49	1	4
佐古小学校前	2016/1/15	1600	曇り	9.5	7.1	100	8.1	130.4	1.33	1.33	1	
野市小学校前	2016/1/15	1610	曇り	9.5	8.1	100	8.6	118.3	2.68	2.68	2	
日ノ御子	2016/6/27	1023	曇り	26.0	18.1	>100	7.0	84.4	0.64	1.87	1	3
片地川	2016/6/27	1100	曇り	22.9	19.7	55	6.8	102.7	8.17	10.14	10	3
物部川緑地	2016/6/27	1120	曇り	23.0	18.9	91	7.0	92.7	5.62	5.63	7	
楠目小学校前	2016/6/27	1140	曇り	24.0	19.2	74	7.1	93.8	6.08	6.30	7	
山田小学校前	2016/6/27	1205	曇り	28.8	19.4	>100	7.7	58.3	1.08	4.47	2	
舟入小学校前	2016/6/27	1220	曇り	27.8	20.3	91	7.7	94.9	5.90	6.46	7	
戸板島橋	2016/6/27	1250	曇り	25.7	19.2	>100	7.4	96.6	5.34	5.94	7	1
佐古小学校前	2016/6/27	1309	曇り	24.5	19.6	96	7.7	93.2	4.43	8.51	7	
野市小学校前	2016/6/27	1320	曇り	24.8	19.7	78	7.4	93.6	6.08	8.35	7	
日ノ御子	2016/8/31	1116	晴れ	30.0	22.3	>100	7.9	109.5	0.24	2.12	1	4
片地川	2016/8/31	1230	曇り	26.0	23.9	>100	7.7	144.8	1.45	6.73	1	2
物部川緑地	2016/8/31	1257	晴れ	30.0	26.5	>100	8.1	129.5	1.14	4.18	1	3
楠目小学校前	2016/8/31	1320	晴れ	30.0	24.4	86	8.2	141.6	2.32	6.15	7	
山田小学校前	2016/8/31	1335	晴れ	30.0	21.9	87	8.3	75.8	3.24	9.28	1	
舟入小学校前	2016/8/31	1350	晴れ	30.0	25.5	96	8.3	129.4	2.35	6.13	2	
戸板島橋	2016/8/31	1358	晴れ	29.0	26.7	>100	8.3	141.2	1.03	4.48	1	3
佐古小学校前	2016/8/31	-	晴れ	-	-	-	-	-	-	-	水量少	
野市小学校前	2016/8/31	1430	晴れ	34	26.1	>100	8.2	143.3	1.97	7.00	1	
日ノ御子	2016/12/2	1045	晴れ	11.8	12.3	>100	7.5	104.3	0.23	1.37	1	4
片地川	2016/12/2	1135	晴れ	14.0	13.1	>100	7.2	137.5	1.14	3.15	1	3
物部川緑地	2016/12/2	1240	晴れ	17.5	14.5	>100	8.0	127.9	1.41	2.16	1	3
楠目小学校前	2016/12/2	1305	晴れ	22.0	15.3	>100	7.8	132.3	2.00	2.57	5	
山田小学校前	2016/12/2	1325	晴れ	19.5	14.6	>100	8.0	70.3	0.81	3.06	1	
舟入小学校前	2016/12/2	1335	晴れ	18.5	15.2	>100	8.5	129.2	1.95	2.79	2	
戸板島橋	2016/12/2	1355	晴れ	19.0	15.5	>100	8.2	130.7	1.17	2.00	1	3
佐古小学校前	2016/12/2	1420	晴れ	18.0	13.8	>100	8.2	126.0	0.87	3.52	1	
野市小学校前	2016/12/2	1430	晴れ	19.5	14.6	>100	7.8	129.3	2.14	3.07	2	

地点	日付	時間	天気	気温 (℃)	水温 (℃)	透視度 (cm)	pH	EC (μ S/cm)	濁度 (度)	色度 (度)	簡易ろ過測定	簡易 水生生物
日ノ御子	2017/2/27	10:25	晴れ	10.0	6.9	>100	7.8	93.6	0.25	1.14	0	3
片地川	2017/2/27	11:00	晴れ	13.0	8.0	>100	7.6	126.7	1.74	5.52	2	3
物部川緑地	2017/2/27	11:30	晴れ	13.5	8.5	>100	7.7	113.1	2.35	3.25	5	3
桐目小学校前	2017/2/27	11:45	晴れ	13.5	8.5	88	7.8	110.2	2.56	3.51	5	
山田小学校前	2017/2/27	12:45	晴れ	13.5	7.9	>100	7.8	66.6	0.52	2.22	1	
舟入小学校前	2017/2/27	12:55	晴れ	13.7	9.9	>100	8.1	108.5	2.69	3.57	5	
戸板島橋	2017/2/27	13:05	晴れ	13.7	10.3	>100	8	113	2.09	3.15	5	3
佐古小学校前	2017/2/27	13:40	晴れ	14.0	8.7	>100	8.2	117.7	0.92	3.16	1	
野市小学校前	2017/2/27	13:50	晴れ	14	10.0	90	8.1	108.1	3.46	4.74	7	

付表 四万十川方式結果

No	指標生物	スコア値	2015/6/23			2015/9/4			2015/9/29			2015/10/16		
			日ノ御子	片地川	物部川緑地	戸板島橋	日ノ御子	片地川	安丸	日ノ御子	片地川	物部川緑地	戸板島橋	戸板島橋
1	アミカ	10												
2	サワガニ	9					9							
3	チラカゲロウ	9												
4	ヒラタカゲロウ	9		9		9	9		9		9	9	9	9
5	カワガ	9	9	9			9			9	9	9	9	9
6	ナガレトビケラ	9												
7	携帯性トビケラ	9					9		9		9			
8	ヘビトンボ	9												
9	ヨコエビ	9												
10	タニガワカゲロウ	8			8	8		8		8	8	8	8	8
11	マダラカゲロウ	8	8					8						
12	ヒナナガカワトビケラ	8	8	8	8			8		8	8	8		
13	ナガレアブ	8												
14	カワニナ	8												
15	モンカゲロウ	7				7		7			7			
16	サナエトンボ	7		7							7			
17	ナベアタムシ	7												
18	シマトビケラ	7	7	7	7	7	7		7	7	7	7	7	7
19	ガガンボ	7		7					7	7	7			
20	ブユ	7												
21	テナガエビ	7												
22	ブラナリア	7												
23	コカゲロウ	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
24	キイロカワカゲロウ	6			6	6		6						
25	ヒラタドロムシ	6		6				6		6	6			
26	ホタル	6												
27	スジエビ	6												
28	モクズガニ	6		6							6			
29	イシマキガイ	6												
30	アミメカゲロウ	5												
31	タイロウチ・ミズカマキリ	5				5								5
32	シジミガイ	5												
33	タニシ	4												
34	モノアラガイ	3												
35	ヒル	2	2	2										
36	ミズムシ	2			2									
37	アメリカザリガニ	1												
38	赤いエスリカ (腹鰐アリ)	1												
39	サカマキガイ	1												
40	イトミミズ	1											1	
TS			32	67	31	48	49	73	46	46	69	55	57	60
種類数			5	10	5	7	6	10	6	6	9	7	7	8
ASPT値			6.4	6.7	6.2	6.9	8.2	7.3	7.7	7.7	7.7	7.9	8.1	7.5

No	指標生物	スコア値	2015/11/24			2016/1/15			2016/6/27								
			別府峡	日の出	日ノ御子	片地川	戸板島橋	別府峡	安丸	日ノ御子	片地川	物部川緑地	戸板島橋	日ノ御子	片地川	山田小学校前	戸板島橋
1	アミカ	10											10				
2	サワガニ	9															
3	チラカゲロウ	9	9														
4	ヒラタカゲロウ	9		9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9		
5	カワゲラ	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9		
6	ナガレトビケラ	9				9	9	9		9	9	9	9	9	9		
7	携帯性トビケラ	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9		
8	ヘビトンボ	9															
9	ヨコエビ	9															
10	タニガワカゲロウ	8			8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
11	マダラカゲロウ	8	8	8				8			8						
12	ヒゲナガカワトビケラ	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
13	ナガレアブ	8	8					8									
14	カワニナ	8															
15	モンカゲロウ	7				7	7										
16	サナエトンボ	7				7								7			
17	ナベアブタムシ	7															
18	シマトビケラ	7				7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
19	ガガンボ	7	7					7									
20	ブユ	7						7		7	7	7	7		7		
21	テナガエビ	7										7					
22	プラナリア	7	7											7	7		
23	コカゲロウ	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
24	キイロカワカゲロウ	6															
25	ヒラタドROMシ	6		6	6	6	6	6			6			6		6	
26	ホタル	6															
27	スジエビ	6															
28	モクズガニ	6												6			
29	イシマキガイ	6															
30	アミメカゲロウ	5															
31	タイコウチ・ミズカマキリ	5															
32	シジミガイ	5															
33	タニシ	4															
34	モノアラガイ	3															
35	ヒル	2												2	2	2	
36	ミズムシ	2															
37	アメリカザリガニ	1															
38	赤いユスリカ (腹鰓アリ)	1	1														
39	サカマキガイ	1															
40	イトミミズ	1															
	TS		72	41	55	76	79	55	56	47	76	54	72	60	85	32	20
	種類数		10	5	7	10	10	7	7	6	10	7	9	8	12	5	3
	ASPT値		7.2	8.2	7.9	7.6	7.9	7.9	8.0	7.8	7.6	7.7	8.0	7.5	7.1	6.4	6.7

No	指標生物	スコア値	2016/8/31				2016/12/2				2017/2/27				出現回数
			日ノ御子	片地川	物部川緑地	戸板島橋	日ノ御子	片地川	物部川緑地	戸板島橋	日ノ御子	片地川	物部川緑地	山田小学校前	戸板島橋
1	アミカ	10													1
2	サワガニ	9	9								9				3
3	チラカゲロウ	9									9				2
4	ヒラタカゲロウ	9	9		9	9	9				9	9		9	27
5	カワゲラ	9	9				9	9	9	9	9	9	9		32
6	ナガレトビケラ	9	9	9	9	9				9	9	9	9	9	20
7	携帯性トビケラ	9	9	9	9		9	9	9		9	9	9	9	28
8	ヘビトンボ	9									9	9	9		2
9	ヨコエビ	9													0
10	タニガワカゲロウ	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	32
11	マダラカゲロウ	8								8	8	8	8	8	12
12	ヒナガガワトビケラ	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	25
13	ナガレアブ	8													2
14	カワニナ	8													0
15	モンカゲロウ	7		7			7	7	7			7			11
16	サナエトンボ	7		7							7				7
17	ナベアブタムシ	7													0
18	シマトビケラ	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	33
19	ガガンボ	7	7				7	7	7		7	7	7	7	20
20	ブユ	7								7					9
21	テナガエビ	7													2
22	プラナリア	7						7		7		7	7	7	9
23	コカゲロウ	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	40
24	キイロカワカゲロウ	6													2
25	ヒラドロムシ	6		6		6	6	6	6		6	6	6	6	20
26	ホタル	6		6							1				1
27	スジエビ	6													0
28	モクズガニ	6													3
29	イシマキガイ	6													0
30	アミメカゲロウ	5													0
31	タイコウチ・ミズカマキリ	5													0
32	シジミガイ	5		5		5				5			5	5	7
33	タニシ	4													0
34	モノアラガイ	3													0
35	ヒル	2											2	2	5
36	ミズムシ	2											2	2	3
37	アメリカザリガニ	1													0
38	赤いユスリカ (腹鰓アリ)	1		1											2
39	サカマキガイ	1													1
40	イトミミズ	1		1											1
	T S		81	80	56	58	76	74	67	74	99	75	105	46	83
	種類数		10	13	7	8	10	10	9	10	12	10	14	8	11
	ASPT値		8.1	6.2	8.0	7.3	7.6	7.4	7.4	7.4	8.3	7.5	7.5	5.8	7.5

浦ノ内湾における底層DOの測定結果と CODに関連する有機物指標について

刈谷玲菜・田嶋 誠*

Monitoring of Dissolved Oxygen (DO) in the Bottom Layer and Chemical Oxygen Demand (COD)-Related Organic Indicators in Uranouchi Bay.

Rena Kariya, Makoto Tajima

【要旨】 地方公共団体環境研究機関と国立環境研究所とのⅡ型共同研究の一環で、平成26年度開始のテーマ「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」において、高知県沿岸の閉鎖性水域である浦ノ内湾を中心に水質調査を行った。本報では、多項目水質計を用いた水温、塩分、溶存酸素（以下「DO」という。）の鉛直分布とそれに関連するCOD等の有機物項目の測定結果について報告する。多項目水質計による測定結果より、夏季には湾中央部から湾奥部にかけて貧酸素層が形成され、秋季に向けて解消されていく様子がうかがえた。浦ノ内湾内で周期的な貧酸素水塊の形成・発達と解消が起きていることが推察された。

Key words：閉鎖性水域，溶存酸素，貧酸素水塊，多項目水質計，Ⅱ型共同研究

1. はじめに

土佐湾中央部に位置する浦ノ内湾は県の代表的な閉鎖性水域であり、水面積約12km²、流入陸域面積約46km²の東西に細長い湾である。特に湾中央部は水深が最大20m近くあるのに対し、湾口部の宇佐大橋付近（図1．st-10）は湾幅350m、水深3～5mと最も狭く、湾内海水と湾外海水の交換を妨げている。この地点より湾奥部は奥行き約8.8km、湾幅400～1,000mで中小の枝湾が多く入り組んでおり、主な流入河川は5つほどあるがいずれも小河川で湾への流入水量は少ない¹⁾。非常に閉鎖的な湾であるため、特に夏季において底層部での貧酸素層の形成が確認されている²⁾。

本報では、浦ノ内湾での貧酸素水塊の発生状況を把握するため、浦ノ内湾内及び外洋の仁淀川河口沖の公共用水域常時監視地点において、多項目水質計による水質の鉛直分布測定を試みた。また、BOD・CODと関連する有機物指標（以下「COD関連項目」という。）についても調査を行ったので、その結果を報告する。

2. 調査概要

2. 1 調査・採水時期

2014年度は7，9，11，1，3月に計5回，2015年度は5，8，10，12月に計4回，2016年度は6月～12月の間に計9回の調査を行った。

2. 2 調査地点

図1に調査地点を示す。水質環境基準類型指定は全地点で生活環境項目に関しA類型，浦ノ内湾のst-9～15は全窒素及び全リンに関しⅡ類型である。

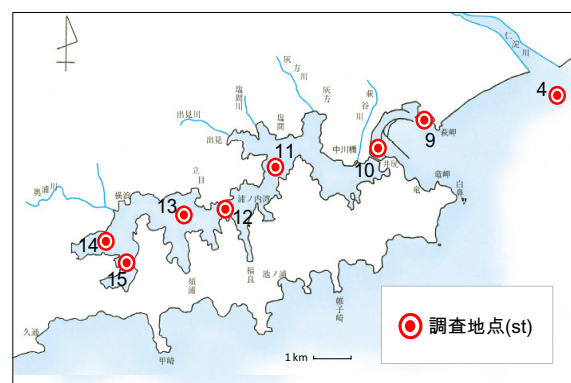


図1 調査地点図

* 現中央東福祉保健所

湾中央部のst-12付近ではマダイを中心とした養殖業が行われており、湾奥部にかけて底層の貧酸素化が問題視されている。

2. 3 調査・分析方法

2. 3. 1 水温・塩分・DO

水温・塩分・DOの測定には多項目水質計 (Hydrolab DataSonde DS-5 型, 環境システム (株)) (以下「水質計」という。) を用いた。船上から海中に向けて約10cm/sの速度で垂下させ、表層から海底まで測定を行った。

なお、底層DOの評価方法は、ほとんどの水生生物種が生息及び再生産できる場を保全・再生することができるものと考えられる生物1種類の環境基準値をもとにDO 4.0mg/L未満を貧酸素状態とした。

2. 3. 2 COD・BOD・TOC

試料採取はリゴー採水器を用い、st-4, 10, 12, 15において行った。採取水深は表層, 2m, 5m, 水深10m以上の地点は10mまで採水した。

採取した海水は保冷下で持ち帰り、450℃で4時間焼成処理した47mm径のガラス繊維フィルター GFCでろ過し、ろ過・未ろ過の各試料についてCOD・BOD・TOCの測定を行った。ろ過試料は溶存性成分の分析用とし、それぞれ溶存性COD (D-COD), 溶存性BOD (D-BOD), 溶存性有機炭素 (DOC) の測定結果を得た。また、懸濁性COD (P-COD), 懸濁性BOD (P-BOD), 懸濁性有機炭素 (POC) は、未ろ過試料とろ過試料の結果の差し引きにより算出した。

COD及びBODはJIS K 0102に基づき測定した。ただしBODに関しては、ふらん瓶での培養は5日間ではなく3日間とした。TOCはTOC計 (TOC-V CPH, 島津製作所) を用いてNPOC (不揮発性有機炭素) を測定した。

2. 3. 3 クロロフィルa

クロロフィルa (Chl a) の測定については、国立環境研究所に分析を依頼した。「茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類とCODに関連する有機物項目について」³⁾ で述べられた逆相カラムを用いたフォトダイオードアレイ検

出器付き高速液体クロマトグラフィー (HPCL) による方法で一連の分析を行った。

3. 結果と考察

3. 1 水質計による鉛直分布測定結果

3. 1. 1 浦ノ内湾内における水温・塩分・DO (2014・2015年度)

2014年度及び2015年度の夏季・冬季の測定結果について、仁淀川河口沖st-4と浦ノ内湾内st-9～15の各地点における水温・塩分・DOの鉛直分布を図2に示す。夏季の測定結果からは、両年度ともDO 4.0mg/L未満の貧酸素層の形成が確認できた。

2014年9月の塩分鉛直分布をみると、st-11から湾奥部のst-15にかけて表層の塩分が低くなっていたが、これは台風の接近により9月7日まで続いた降雨⁴⁾の影響によるものと考えられる。st-4においても、仁淀川からの流出水の影響と思われる表層の水温及び塩分の低下、DOの上昇がみられた。底層DOを低下させた要因としては海水中有機物の分解や底泥の酸素消費が考えられるが、st-11からst-15にかけて表層のDOが高く過飽和状態にあったことから植物プランクトンの増殖が影響していることが示唆された。

2014年9月と2015年8月の結果を比較すると、DOの鉛直分布に違いがあることが分かった。湾中央部のst-12やst-13において、2014年9月の測定結果では底層に近づくにつれてDOが減少する傾向がみられたが、2015年8月の結果では水深5m付近でDO約1.5mg/Lと最も低くなり、そこから底層に向かってDOが上昇し、水深17m付近ではDO約4.8mg/Lとなっていた。

2015年8月の結果からは、2014年の結果にみられたDOの過飽和状態のような植物プランクトンの増殖に伴う特徴はみられず、Chl aの最高値もst-12の水深2mで11.5μg/Lであった。したがって、植物プランクトンが下層へと移行・沈降する中で水深5m付近において呼吸や分解によりDOが消費されたとは考えにくかった。湾外からの海水が湾内底層に侵入し、底層に形成されていた貧酸素水塊を持ち上げ、中層で貧酸素水塊が発達したのではないかと考えられた。

冬季 (2015年1月, 12月) には貧酸素状態の解

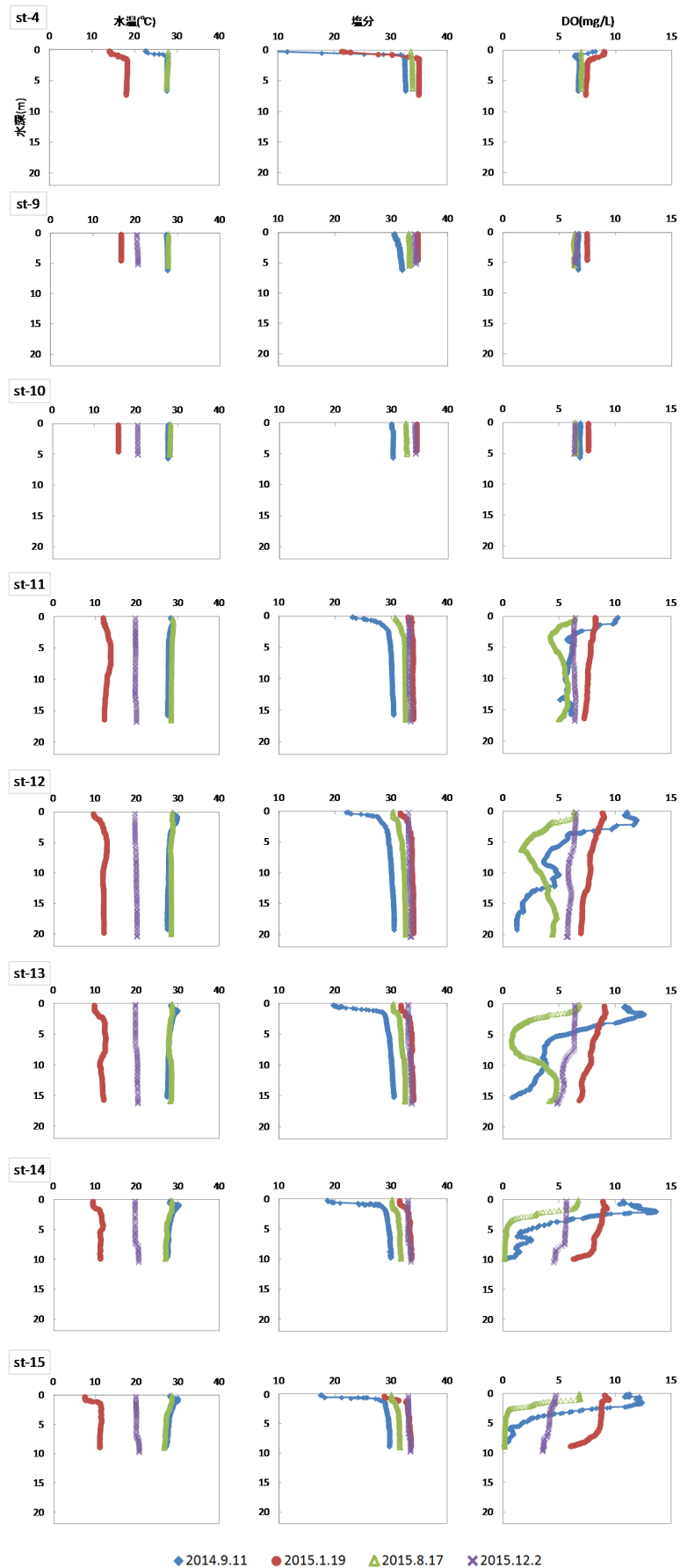


図2 仁淀川河口沖及び浦ノ内湾内における水温・塩分・DO (夏季・冬季/2014・2015年度)

※ st-4については2015. 12. 2は未測定

消が認められた。

3. 1. 2 浦ノ内湾内におけるDOの断面図解析 (2016年度)

2016年度は、貧酸素水塊の形成から解消されるまでの様子をより詳しく見るため、6月から12月にかけて月1～2回の頻度で水質計による調査を行った。浦ノ内湾内のDO及び塩分の断面分布を図3に示す。

調査を開始した6月3日時点で、すでに湾中央部を中心にst-11近辺から湾奥部にかけて底層の貧酸素水塊の形成が確認され、底層DOは最も水深の深いst-12では0.8mg/Lであった。調査時にはst-11とst-12において海面に赤潮とみられる懸濁物が確認され、Chl *a*はst-12の水深5mにおいて最も高く86.5 μ g/L、次いでst-15の水深5mで31.1 μ g/L、st-12の水深2mで6.4 μ g/Lであった。また、このときst-12から湾最奥部のst-15にかけて、表層から水面下3.5m付近まではDOが約14mg/Lと過飽和状態になっており、このことから大量に増殖した植物性プランクトンの存在が推察された。

夏季になるにつれ、貧酸素水塊は表層及び湾奥方向へ徐々に広がっていき、9月の調査時にはst-10付近から湾奥部のst-15にわたる広範囲で最も顕著な貧酸素状態となった。このとき、底層DOはst-10で6.5mg/L、st-11で1.1mg/L、湾中央部のst-12から湾最奥部のst-15にかけては0.8mg/Lとなっていた。しかし、7月27日や8月26日のDO断面分布を見ると湾中央部の底層付近でDOがやや回復しており、夏の間に貧酸素層が継続して拡大していくのではなく、DOの消費と供給を繰り返しながら貧酸素水塊が形成されていく様子がうかがえた。宗景ら^{5) 6)}の研究によれば、これは、大潮時に湾外水の密度が湾内底層水の密度より大きくなり、湾外水が湾内底層に潜り込むように侵入する差込み（密度流）が生じたためであると考えられる。差込みに伴うDO補給によって、一時的に湾中央底層部のDOは回復するが、短期間のうちにDOが消費されてしまい、次の小潮時には再び貧酸素水塊が形成される。また、差込みの及ばない湾奥部では、貧酸素状態が長く持続する⁵⁾
⁶⁾。先述の2015年8月のDO鉛直分布についても、降雨のほとんどない日が長く続いた⁴⁾ために湾

外水が湾内の底層水よりも高密度化し、差込みが起こったことにより湾中央部の底層にDOが補給された様子をとらえた可能性が高い。

図4に7月27日の底層における塩分の水平分布図を示す。湾外水が湾内と比べて高塩分（高密度）になっていることが確認できる。大潮時のデータではないため明瞭なものではないが、図3の塩分断面分布からは、湾外水の侵入を思わせる湾口部から湾中央部の底層への斜面に沿うような高塩分の層がみられた。

10月以降の秋季にかけての調査では、貧酸素状態が徐々に解消されていった。10月13日のDO断面分布からも、貧酸素層が中層に取り残された、あるいは浮き上げられた状況が見られ、湾中央部の底層からDOが回復している様子が確認された。

11月18日の断面分布図では、鉛直混合の促進により塩分、DOとも湾奥の底層部付近を除いて表層直下まではほぼ一様化していた。底層DOは11月の調査時に湾最奥部のst-15で4.9mg/Lまで改善し、12月の調査ではst-15で6.8mg/Lとなり、貧酸素層の解消が認められた。

2016年度の調査で得られたDO断面分布図は、1987年の観測結果を基にして作成された縦断分布^{5) 6)}と非常によく一致する挙動を示しており、浦ノ内湾内で周期的な貧酸素水塊の形成・発達と解消が起こっていることが推察された。

3. 2 水質分析結果

採取した試料の水質分析結果を示す。なお、P-COD（懸濁性COD：CODからD-COD（溶存性COD）を差し引いたもの。）のように、直接測らず間接的に算出してマイナスになった値については、誤差の範囲とみなし懸濁成分ゼロとして評価した。

夏季（7～9月）に採水した試料のBOD・COD関連項目の測定結果を図5及び表1（文末）、冬季（12月～3月）に採水した試料の測定結果を図6及び表2（文末）に示す。夏季と冬季のデータを比較するにあたって、1～3月の測定データが少なかったため、水質計を用いた測定により貧酸素水塊が完全に解消されていることが確認された12月のデータを含めて評価した。

全ての項目において外洋である仁淀川河口沖st-4より浦ノ内湾内の方が高い値を示し、特に

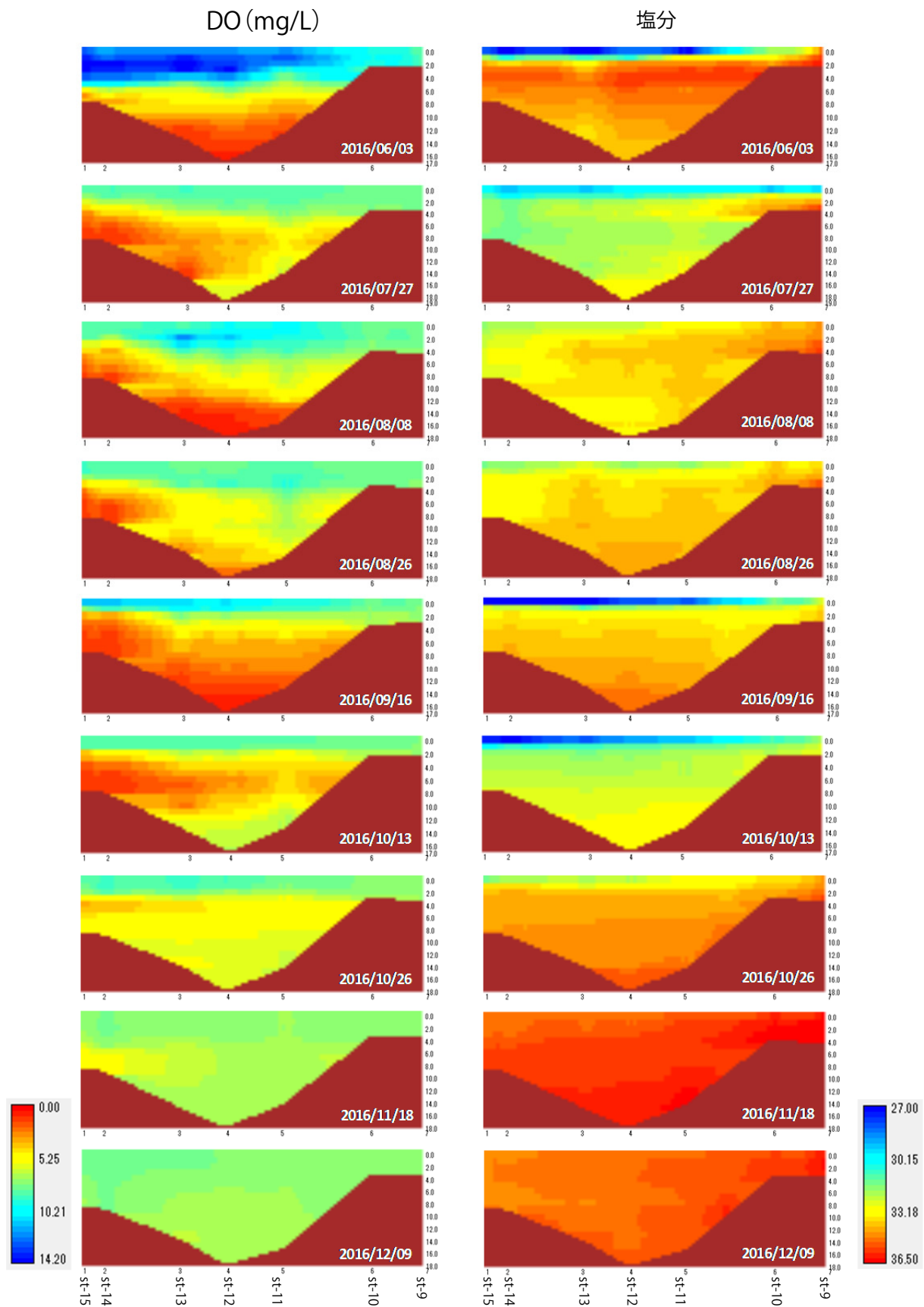


図3 浦ノ内湾のDO及び塩分の断面分布図（2016年度）

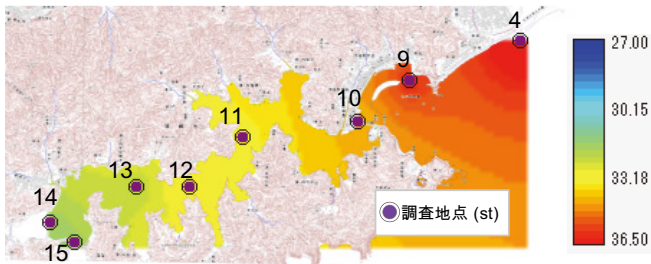


図4 仁淀川河口沖・浦ノ内湾の塩分水平分布図
(2016年7月27日・底層)

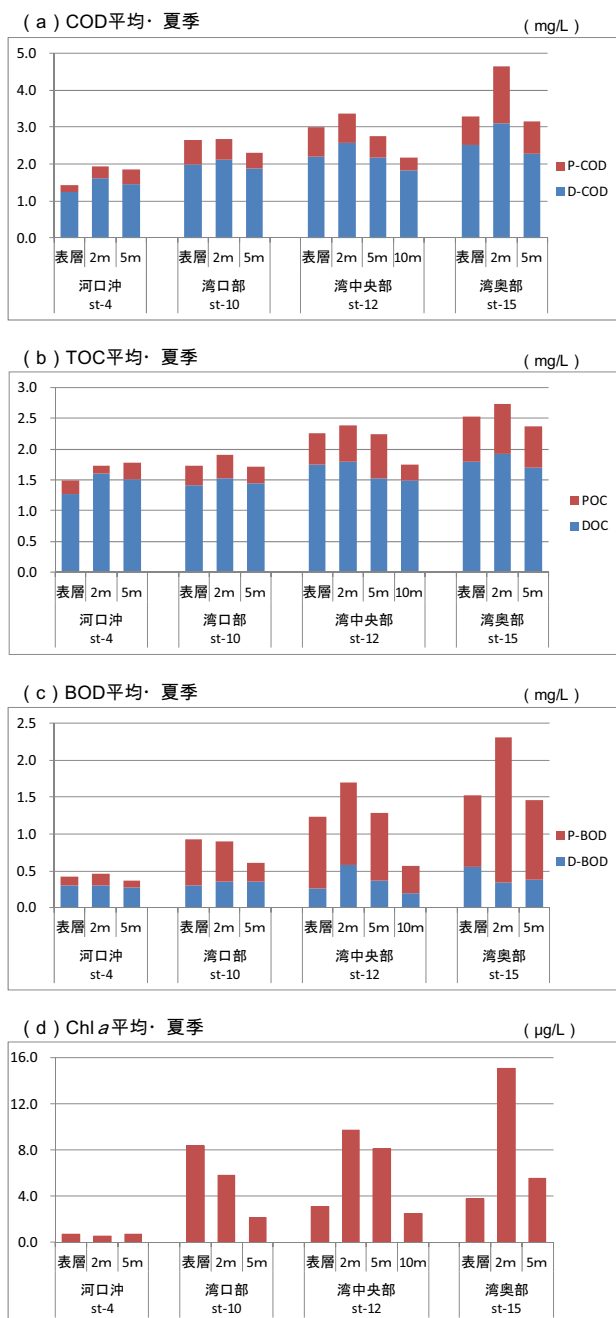


図5 BOD・COD関連項目（夏季/2014～2016年度）

湾奥部であるst-15は他の湾内2地点より高くなる傾向がみられた。

季節間の比較では夏季の方が冬季より測定値が高い傾向にあり、外洋である仁淀川河口沖st-4より浦ノ内湾内の方が季節間の差がより顕著に表れていた。これは水温の高い夏季の植物プランクトンの増殖（内部生産）が原因であると考えられる。

夏季・冬季の結果から、COD及びTOCについては大部分を溶存性のもの（D-COD、DOC）が占めており、湾奥部にかけて上昇傾向にあった。一方、溶存性のBODが全BODに対して占める割合は小さく、P-BODがBODの値に大きく寄与していることが分かった。D-BODはほとんどの測定において環境基準の報告下限値である0.5mg/Lを下回る結果を示し、地点間の差はほぼみられなかった。これに対して、D-CODやDOCは湾奥側の地点ほど値が高くなる傾向にあることから、浦ノ内湾においては溶存性難分解物質が存在していると思われる。

図7～9に2014～2016年度に測定した浦ノ内湾のBOD・COD関連項目間の関係を示す。

図7にTOCとCOD、DOCとD-CODの各項目間の関係を示す。TOCとCODには相関がみられたが、DOCとD-CODの間には相関は認められなかった。

図8に懸濁性有機炭素関連項目の関係を示す。Chl aとP-CODには相関が認められた。このことから、浦ノ内湾ではP-CODの大部分が植物プランクトン起源であると考えられる。Chl aとPOCの関係については、POCの最高値が他のデータと比べて大きく、この値が相関を強くしている可能性があるため、今後もデータを蓄積しながら検討していく必要がある。

BODに関しては、CODとBODの間に明確な相関が確認できたほか、Chl aとBOD、Chl aとP-BODに相関が認められた（図9）。CODとBODの回帰直線から、BODが0 mg/LであってもCODは正の値を示すことが推察された。貧酸素水塊形成の原因となる有機物を評価するうえで、DO消費の要因となる微生物分解性の有機物がほとんどない場合にあってもある程度の値を示すCODよりも、BODが有用な有機汚濁指標となりうることを示された。一方で、D-CODとD-BODの間には相関がみられなかったことから、浦ノ内湾ではD-CODを上昇させる原

因物質の存在が考えられ、今後検討する必要がある。

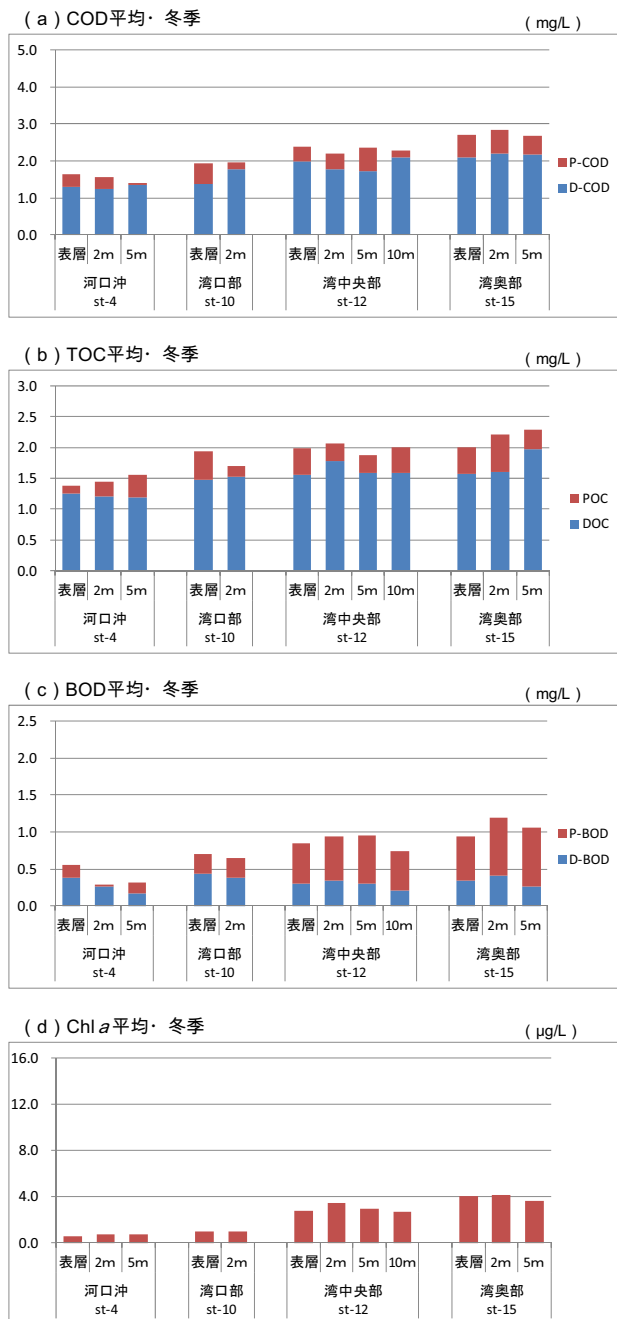


図6 BOD・COD関連項目（冬季/2014～2016年度）

4. まとめ

6月初旬には湾中央部を中心に底層の貧酸素状態が確認され、夏季になるにつれDOの消費と供給を繰り返しながら貧酸素水塊が形成されていく様子がうかがえた。秋季にかけての調査では、湾中央部の底層からDOが徐々に回復し、冬季には

貧酸素層の解消が認められた。

今回の調査結果は、1987年の観測結果^{5) 6)}と非常によく一致する挙動を示しており、浦ノ内湾内で周期的な貧酸素水塊の形成・発達と解消が起こっていることが推察された。

BOD・CODと関連する有機物指標について、外洋である仁淀川河口沖より浦ノ内湾内の方が高い値となる傾向がみられた。季節間の比較では、内部生産の高い夏季の方が冬季より測定値が高い傾向にあり、浦ノ内湾内の方が外洋である仁淀川河口沖より季節間の差がより顕著に表れていた。

CODと関連する有機物指標について、浦ノ内湾での各項目間の関係を検討した結果、TOCとCOD、Chl aとP-CODに相関が認められた。BODに関しては、CODとBODの間に明確な相関が確認できたほか、Chl aとBOD、Chl aとP-BODに相関が認められた。DO消費の要因となる有機物を評価するうえで、有機汚濁負荷が少ない場合にあっては常に何らかの値を示すCODよりもBODが有用な有機汚濁指標となりうることを示された。一方で、D-CODとD-BODの間には相関がみられなかったことから、浦ノ内湾ではD-CODを上昇させる原因物質の存在が考えられ、今後検討する必要がある。

謝 辞

最後に、分析・ご助言をいただきました国立研究開発法人国立環境研究所・地域環境研究センターの牧秀明氏をはじめ、ご協力いただきました皆様に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 白木恭一ら：浦ノ内湾の水質調査（窒素，リンを中心にして），高知県環境研究センター所報，13，51-57，1996
- 2) 田嶋誠，西山泰彦：高知県沿岸の閉鎖性水域における多項目水質計を用いた鉛直分布測定結果とCOD等の関連項目について，高知県環境研究センター所報，30，39-50，2013
- 3) 牧秀明：茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類とCODに関連する有機物項目について
- 4) 国土交通省 気象庁ホームページ 各種データ・資料

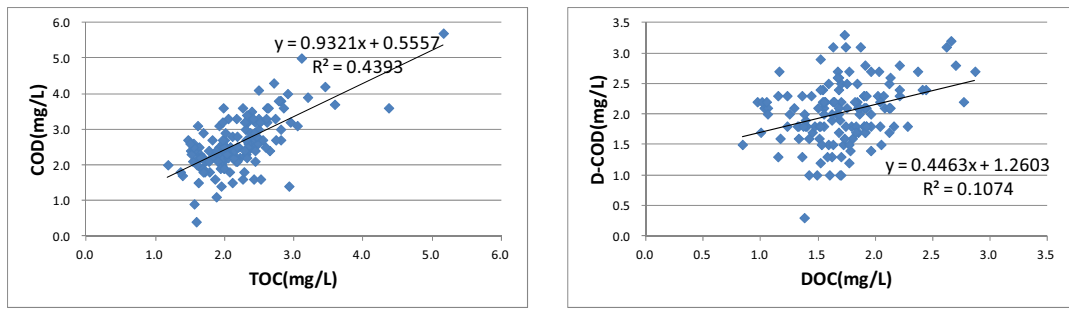


図7 TOCとCOD, DOCとD-CODの関係

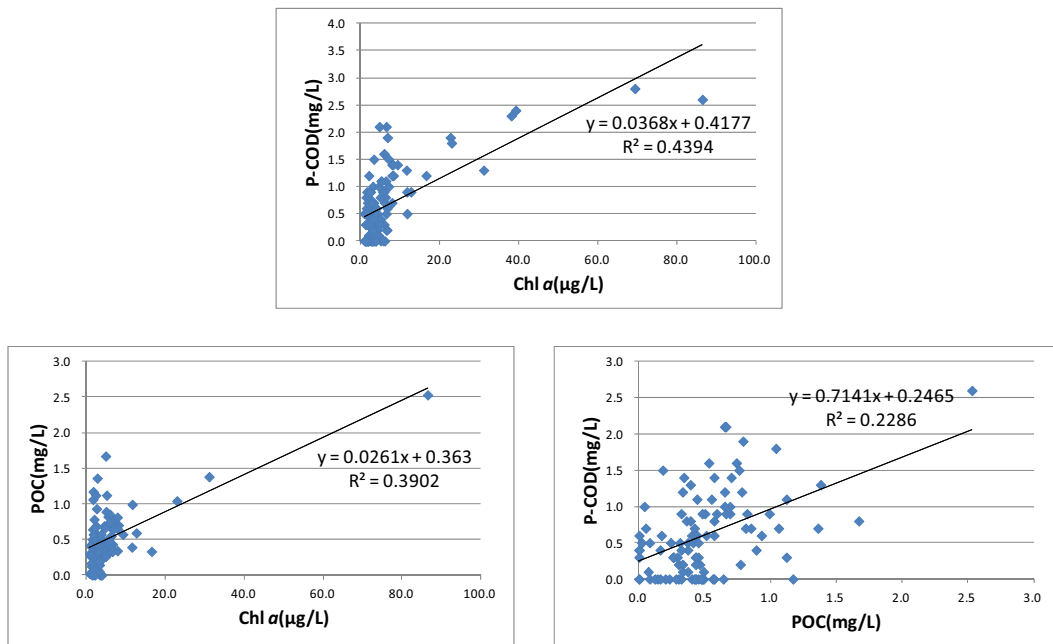


図8 懸濁性有機炭素関連項目 (P-COD, POC, Chl a) 間における関係

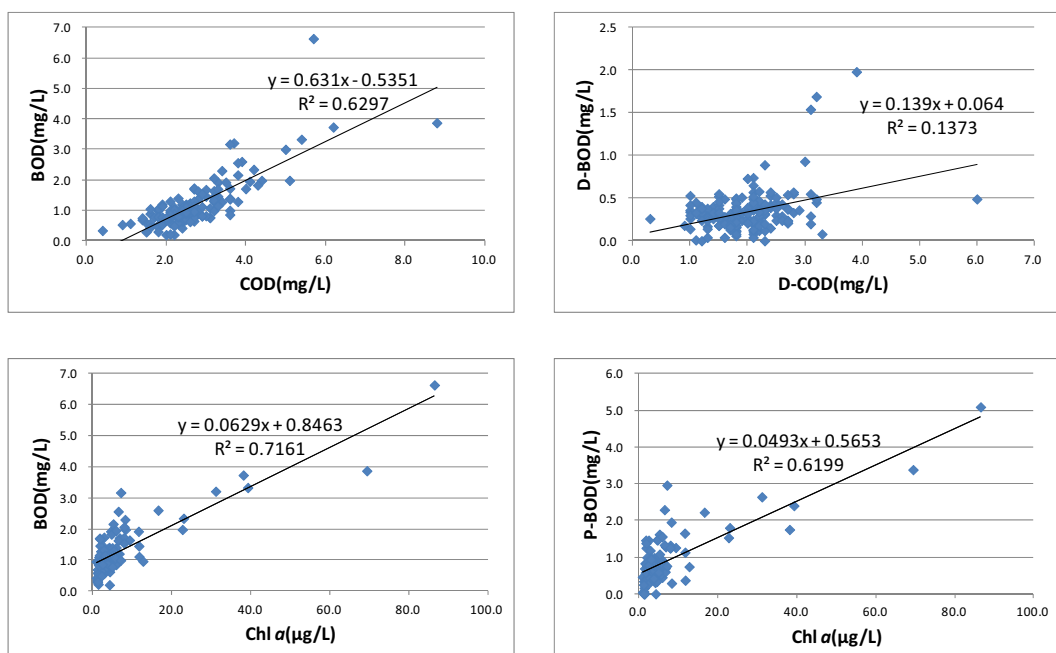


図9 BODとCOD, Chl a間における関係

<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>

- 5) 宗景志浩ら：浦の内湾のDO収支と貧酸素水塊の形成および消滅機構，海洋工学論文集，36，864-868，1989
- 6) 宗景志浩：湾外水の差込み現象（密度流）とこれに伴う大規模貧酸素化の発達機構の解明
平成5年度科学研究費補助金（一般研究-C）研究成果報告書，1994

表1 仁淀川河口沖・浦ノ内湾内におけるBOD・COD関連項目（夏季/2014～2016年度）

(単位はChl <i>a</i> はμg/L, 他は全てmg/L.)											平均値 中央値 (標準偏差)
地点	採水層	COD	D-COD	P-COD (COD-D-COD)	TOC	DOC	POC (TOC-DOC)	BOD	D-BOD	P-BOD (BOD-D-BOD)	Chl <i>a</i>
仁淀川 河口沖	表層	1.30	1.25	0.18	1.50	1.28	0.22	0.43	0.30	0.12	0.69
		<i>1.50</i>	<i>1.15</i>	<i>0.05</i>	<i>1.44</i>	<i>1.25</i>	<i>0.21</i>	<i>0.45</i>	<i>0.31</i>	<i>0.13</i>	<i>0.63</i>
		(0.57)	(0.31)	(0.29)	(0.22)	(0.06)	(0.16)	(0.08)	(0.13)	(0.07)	(0.17)
	2m	1.83	1.60	0.33	1.74	1.60	0.13	0.46	0.30	0.17	0.54
		<i>1.80</i>	<i>1.65</i>	<i>0.15</i>	<i>1.69</i>	<i>1.69</i>	<i>0.15</i>	<i>0.45</i>	<i>0.33</i>	<i>0.16</i>	<i>0.51</i>
		(0.38)	(0.24)	(0.25)	(0.26)	(0.27)	(0.28)	(0.13)	(0.10)	(0.07)	(0.09)
浦ノ内湾 湾口部	5m	1.85	1.45	0.40	1.79	1.52	0.27	0.38	0.27	0.10	0.71
		<i>1.90</i>	<i>1.50</i>	<i>0.30</i>	<i>1.63</i>	<i>1.35</i>	<i>0.19</i>	<i>0.41</i>	<i>0.26</i>	<i>0.10</i>	<i>0.54</i>
		(0.37)	(0.19)	(0.45)	(0.39)	(0.46)	(0.17)	(0.09)	(0.04)	(0.10)	(0.32)
	表層	2.43	1.97	0.69	1.73	1.41	0.32	0.93	0.31	0.63	8.34
		<i>2.10</i>	<i>1.80</i>	<i>0.70</i>	<i>1.64</i>	<i>1.34</i>	<i>0.41</i>	<i>0.65</i>	<i>0.24</i>	<i>0.41</i>	<i>2.53</i>
		(1.50)	(0.56)	(0.86)	(0.31)	(0.27)	(0.23)	(1.08)	(0.28)	(0.82)	(15.16)
浦ノ内湾 中央部	2m	2.56	2.11	0.57	1.90	1.53	0.37	0.90	0.36	0.54	5.83
		<i>2.30</i>	<i>2.00</i>	<i>0.30</i>	<i>1.79</i>	<i>1.53</i>	<i>0.33</i>	<i>0.78</i>	<i>0.35</i>	<i>0.39</i>	<i>2.74</i>
		(1.22)	(0.52)	(0.68)	(0.41)	(0.21)	(0.24)	(0.49)	(0.11)	(0.45)	(8.28)
	5m	2.28	1.88	0.42	1.72	1.44	0.28	0.62	0.35	0.26	2.11
		<i>2.10</i>	<i>1.80</i>	<i>0.30</i>	<i>1.66</i>	<i>1.42</i>	<i>0.24</i>	<i>0.59</i>	<i>0.39</i>	<i>0.16</i>	<i>1.96</i>
		(0.53)	(0.23)	(0.62)	(0.27)	(0.22)	(0.14)	(0.13)	(0.10)	(0.23)	(0.96)
浦ノ内湾 奥部	表層	3.00	2.18	0.82	2.27	1.75	0.51	1.23	0.27	0.96	3.11
		<i>3.15</i>	<i>2.20</i>	<i>0.75</i>	<i>2.22</i>	<i>1.69</i>	<i>0.44</i>	<i>1.12</i>	<i>0.24</i>	<i>0.87</i>	<i>1.92</i>
		(0.52)	(0.34)	(0.56)	(0.30)	(0.30)	(0.29)	(0.39)	(0.13)	(0.33)	(2.67)
	2m	3.29	2.56	0.80	2.39	1.80	0.59	1.69	0.59	1.10	9.71
		<i>2.70</i>	<i>2.50</i>	<i>0.70</i>	<i>2.34</i>	<i>1.77</i>	<i>0.47</i>	<i>1.32</i>	<i>0.33</i>	<i>0.83</i>	<i>2.77</i>
		(1.33)	(0.80)	(0.81)	(0.32)	(0.21)	(0.40)	(0.97)	(0.63)	(0.43)	(14.41)
浦ノ内湾 奥部	5m	2.70	2.16	0.60	2.25	1.53	0.71	1.28	0.37	0.91	8.11
		<i>2.70</i>	<i>2.20</i>	<i>0.50</i>	<i>2.33</i>	<i>1.46</i>	<i>0.67</i>	<i>1.14</i>	<i>0.32</i>	<i>0.78</i>	<i>7.82</i>
		(0.45)	(0.29)	(0.46)	(0.23)	(0.19)	(0.19)	(0.28)	(0.17)	(0.34)	(3.25)
	10m	2.10	1.83	0.34	1.75	1.50	0.25	0.57	0.19	0.38	2.44
		<i>2.20</i>	<i>2.00</i>	<i>0.50</i>	<i>1.71</i>	<i>1.47</i>	<i>0.24</i>	<i>0.53</i>	<i>0.18</i>	<i>0.41</i>	<i>2.06</i>
		(0.54)	(0.74)	(0.26)	(0.17)	(0.27)	(0.19)	(0.22)	(0.08)	(0.17)	(0.95)
浦ノ内湾 奥部	表層	3.27	2.52	0.77	2.53	1.79	0.74	1.53	0.56	0.97	3.77
		<i>3.25</i>	<i>2.60</i>	<i>0.90</i>	<i>2.63</i>	<i>1.70</i>	<i>0.68</i>	<i>1.69</i>	<i>0.37</i>	<i>0.99</i>	<i>2.23</i>
		(0.72)	(0.64)	(0.42)	(0.34)	(0.25)	(0.26)	(0.47)	(0.57)	(0.46)	(2.71)
	2m	4.64	3.10	1.54	2.74	1.92	0.82	2.31	0.35	1.96	15.10
		<i>3.80</i>	<i>2.70</i>	<i>1.50</i>	<i>2.76</i>	<i>1.79</i>	<i>0.77</i>	<i>2.16</i>	<i>0.35</i>	<i>1.62</i>	<i>4.90</i>
		(1.91)	(1.37)	(0.80)	(0.26)	(0.40)	(0.26)	(1.09)	(0.17)	(1.00)	(26.67)
浦ノ内湾 奥部	5m	3.14	2.29	0.86	2.38	1.70	0.68	1.47	0.38	1.08	5.58
		<i>3.20</i>	<i>2.20</i>	<i>0.90</i>	<i>2.45</i>	<i>1.69</i>	<i>0.71</i>	<i>1.30</i>	<i>0.36</i>	<i>0.91</i>	<i>5.41</i>
		(0.60)	(0.32)	(0.57)	(0.24)	(0.16)	(0.17)	(0.64)	(0.17)	(0.55)	(2.19)

表2 仁淀川河口沖・浦ノ内湾内におけるBOD・COD関連項目（冬季/2014～2016年度）

(単位はChl <i>a</i> はμg/L, 他は全てmg/L.)											平均値 中央値 (標準偏差)
地点	採水層	COD	D-COD	P-COD (COD-D-COD)	TOC	DOC	POC (TOC-DOC)	BOD	D-BOD	P-BOD (BOD-D-BOD)	Chl <i>a</i>
仁淀川 河口沖	表層	1.45	1.30	0.35	1.38	1.26	0.12	0.57	0.38	0.19	0.60
		1.45	1.30	0.35	1.38	1.26	0.12	0.57	0.38	0.19	0.60
	2m	(0.21)	(0.28)	(0.21)	(0.52)	(0.59)	(0.07)	(0.23)	(0.06)	(0.16)	—
		1.55	1.25	0.30	1.45	1.21	0.24	0.21	0.26	0.03	0.75
	5m	1.55	1.25	0.30	1.45	1.21	0.24	0.21	0.26	0.03	0.75
		(0.21)	(0.07)	(0.28)	(0.28)	(0.47)	(0.18)	(0.13)	(0.03)	(0.04)	—
浦ノ内湾 湾口部	表層	1.35	1.35	0.05	1.55	1.20	0.36	0.32	0.17	0.15	0.77
		1.35	1.35	0.05	1.55	1.20	0.36	0.32	0.17	0.15	0.77
	2m	(0.35)	(0.49)	(0.07)	(0.53)	(0.45)	(0.09)	(0.08)	(0.04)	(0.04)	—
		1.93	1.38	0.55	1.94	1.47	0.46	0.70	0.43	0.26	1.01
	5m	1.95	1.35	0.50	1.98	1.61	0.54	0.70	0.44	0.26	1.01
		(0.43)	(0.35)	(0.17)	(0.32)	(0.44)	(0.33)	(0.23)	(0.09)	(0.23)	(0.24)
浦ノ内湾 中央部	表層	1.88	1.78	0.18	1.65	1.52	0.18	0.65	0.38	0.26	1.01
		1.85	1.70	0.15	1.67	1.64	0.21	0.69	0.36	0.25	1.01
	2m	(0.43)	(0.77)	(0.21)	(0.43)	(0.33)	(0.13)	(0.16)	(0.11)	(0.21)	(0.20)
		2.35	1.98	0.40	1.96	1.56	0.42	0.79	0.30	0.55	2.78
	5m	2.30	2.05	0.35	1.92	1.67	0.40	0.99	0.30	0.71	2.78
		(0.34)	(0.36)	(0.39)	(0.16)	(0.41)	(0.39)	(0.40)	(0.09)	(0.37)	(1.97)
浦ノ内湾 湾奥部	表層	2.20	1.78	0.43	1.89	1.78	0.28	0.95	0.34	0.61	3.47
		2.25	1.75	0.35	1.84	1.99	0.27	0.92	0.32	0.64	3.47
	2m	(0.50)	(0.25)	(0.34)	(0.44)	(0.53)	(0.26)	(0.18)	(0.16)	(0.20)	(1.44)
		2.35	1.73	0.63	1.88	1.58	0.29	0.96	0.30	0.65	2.98
	5m	2.35	1.80	0.50	1.84	1.68	0.30	0.97	0.32	0.66	2.98
		(0.47)	(0.45)	(0.56)	(0.32)	(0.37)	(0.24)	(0.12)	(0.11)	(0.05)	(0.94)
浦ノ内湾 湾奥部	表層	2.20	2.10	0.18	2.00	1.59	0.41	0.75	0.21	0.54	2.72
		2.30	2.10	0.05	1.99	1.67	0.50	0.74	0.18	0.52	2.72
	2m	(0.45)	(0.26)	(0.29)	(0.42)	(0.40)	(0.23)	(0.18)	(0.11)	(0.14)	(0.05)
		2.58	2.10	0.60	1.98	1.58	0.42	0.93	0.34	0.60	4.09
	5m	2.65	2.15	0.50	1.99	1.61	0.35	0.89	0.31	0.61	4.09
		(0.54)	(0.29)	(0.61)	(0.04)	(0.44)	(0.42)	(0.20)	(0.19)	(0.17)	(2.69)
浦ノ内湾 湾奥部	表層	2.75	2.20	0.63	2.22	1.61	0.61	1.17	0.41	0.78	4.13
		2.65	2.25	0.55	2.21	1.69	0.46	1.27	0.39	0.83	4.13
	2m	(0.62)	(0.22)	(0.61)	(0.19)	(0.41)	(0.41)	(0.28)	(0.09)	(0.25)	(1.23)
		2.68	2.18	0.50	2.11	1.97	0.33	1.05	0.26	0.80	3.61
	5m	2.70	2.25	0.50	2.23	1.98	0.02	1.06	0.30	0.79	3.61
		(0.22)	(0.26)	(0.12)	(0.40)	(0.76)	(0.63)	(0.28)	(0.16)	(0.18)	(0.30)

IV 所 報 投 稿 規 定

高知県環境研究センター所報投稿規定

1. 所報の内容

- (1) 環境研究センターの概要（当該年度）
 - 1) 沿革 2) 施設の概要
 - 3) 組織及び主な業務 4) 職員の一覧
 - 5) 人事異動 6) 予算 7) 主要備品
- (2) 業務概要（前年度）
 - 1) 前年度決算 2) 学会・会議及び研修
 - 3) 研究発表（要旨） 4) 環境教育・学習及び研修等 5) 各担当の業務概要

2. 投稿規定

- (1) 投稿者の資格
投稿者は原則として当所職員あるいは当所職員との共同研究者及び編集委員会が認めた場合には、会員以外からの寄稿を受け付ける場合がある。
- (2) 原稿の種類
原稿は研究論文、資料及び投稿文等とする。研究論文は独創性に富み、新知見に基づく内容の論文とする。資料は実験、調査研究の結果及び研究過程でまとめた成果等記録すべき内容の論文。投稿文は環境研究センター内外を問わず投稿が出来るが、その内容は研究職員の示唆に富み資質向上に寄与するものとする。

(3) 原稿の執筆

原稿の執筆はワードプロセッサを用い、A4用紙を用い1頁43行とし、1行は22文字とする。詳細は、原稿執筆要領に従う。

(4) 原稿の提出と編集

原稿は所属担当チーフを経て編集委員会に提出する。編集委員会で編集された原稿は所長がこれを校閲する。

(5) 校正

原稿は3校までをもつて校了とする。初校は著者が行い、再校以降は編集委員会が行う。

(6) 編集委員会

所報編集委員会は、各担当より一名参加するものとし、編集委員長は次長をもって充てる。所長はアドバイザーとして編集委員会に適宜参加する。編集委員会では、提出された原稿の査読を行い、内容に問題のある場合は、著者に修正を求める場合がある。

(7) 原稿

原稿は6月末までに編集委員会に提出するものとする。

(8) その他の事項

その他必要な事項は編集委員会で協議する。

原 稿 執 筆 要 領

1. 文 体

原稿は原則として当用漢字、現代かなづかいとする。

2. 表題、著者名

研究論文、資料共に表題及び著者名をつける。

3. 本 文

- (1) 研究論文については、要旨、キーワード、はじめに、実験、調査（材料と方法）、結果、考察、おわりに（謝辞）、文献の順序とし、表題及び要旨には英文訳をつける。謝辞については節をたてず、一行あけて書く。
- (2) 資料については「要旨」、「はじめに」の文章は省略して書き始め、「実験、結果、考察」

についてもそれらの文字に下線を引いた上、改行しないでそれぞれの内容を書く。

(3) 番号の付け方は原則として下記のようにする。

- 1 .
- 2 .
- 3 .
- 3 . 1
- 3 . 2
- 3 . 3
- 3 . 3 . 1
- 3 . 3 . 2
- 3 . 3 . 3

(4) 句読点 (, .), (・), (「 」) には一区画をあたえる。ただし、これらの記号が行の頭に出る場合は、前の行の右欄外に書く。

(5) 英、数字は一区画2文字とし、数字は原則としてアラビア数字を用いる。

(6) 書体はそれぞれ文字の下に次の記号を入れる。

ゴシック体 ~~~~~
 イタリック体 —————
 小キャピタル =====
 大キャピタル マルで囲む

(7) 使用する単位はSI単位系にしたがって表記することを原則とする。ただし容量単位は、リットル (L) , 立方メートル (m³) を用い

ることを原則とする。

(8) 生物名は和名の場合カタカナを用い、学名はイタリック体とする。

4. 表と図

(1) 表と図は、本文とは別に A 4 の大きさの用紙に書き、表では表の上部に、図では図の下部に番号と表題を表示する。注釈は表では下部に、図の場合は別紙に記載する。

(2) 表や図の本文中への挿入位置は原稿用紙の右欄外に←表 1 のように赤字で明示する。

5. 文 献

(1) 文献は本文の引用箇所の右肩に1), 2), 3), 4 - 6) のように通し番号で示す。記載方法は一文献ごとに行を改める。

(2) 雑誌の引用は、著者名：雑誌名、巻(号)、頁、発行年(西暦)の順に記載する。

(3) 共著の場合は、3名以内は全員を記載し、4名以上の場合は第1著者のみを記載し、その後に「ら」と記す。

(4) 文献の略名は、邦文誌は日本自然科学学術雑誌総覧、欧文誌はChemical Abstractsに従って記載する。

ANNUAL REPORT
OF
KOCHI PREFECTURAL ENVIRONMENTAL
RESEARCH CENTER
No.33, 2016



古紙配合率100%再生紙を使用しています
白色度は70%です