

大規模災害および気候変動に適応した 活性炭処理システムに関する検討

研究代表者	秋葉 道宏
研究分担者	下ヶ橋 雅樹
研究協力者	越後 信哉
研究分担者	高梨 啓和
研究協力者	安井 大貴

厚生労働科学研究費補助金 (健康安全・危機管理対策総合研究事業)
「大規模災害および気候変動に伴う利水障害に対応した環境調和型
水道システムの構築に関する研究」
分担研究報告書

研究課題：大規模災害および気候変動に適応した活性炭処理システムに関する検討

研究代表者 秋葉 道宏 国立保健医療科学院 統括研究官
研究分担者 下ヶ橋 雅樹 国立保健医療科学院 上席主任研究官
研究分担者 越後 信哉 国立保健医療科学院 上席主任研究官
研究分担者 高梨 啓和 鹿児島大学大学院理工学研究科准教授 准教授
研究協力者 安井 大貴 国立保健医療科学院 研究生

研究要旨

本研究では、異臭味対策として広く使用される粉末活性炭（粉炭）に注目し、(I)様々な条件での粉炭の異臭味原因物質吸着特性を実験的に明らかとして、その合理的な使用率決定のための基礎情報を整理すること、ならびに、(II)代表者らがこれまで作成してきた浄水薬品調達データベースをもとに、活性炭調達のエネルギー消費量評価や災害時の脆弱性を評価するためのデータベースに発展させることを目的とした。(I)については、全国21か所の水道原水中での2-MIBの粉炭への平衡吸着量を実測し Freundlich 式で整理したところ、 $1 \mu\text{g/L}$ の2-MIB平衡濃度下では、超純水中に比べて、水道原水では平衡吸着量が38~75%に低下することがわかった。また、励起波長220 nm/蛍光波長415 nmの蛍光強度と吸着量低下に比較的高い線形相関関係がみられた。吸着前後のEEMの変化、及び分子量分布測定の結果から、分子量1~3 kDa程度のEx220/Em415付近に特徴的なピークを有する有機物が、水道原水中での2-MIB平衡吸着に対する競合成分の一つと推測された。また、5種類の粉炭に対するGeosminと2-MIBの吸着量を確認したところ、Geosminのほうが吸着されやすいことが確認された。また、石炭系粉炭では、構造の違いが吸着質に与える影響の違いの可能性が示唆された。さらに、各浄水場と活性炭の生産能力を可視化するデータベースを作成した。また、このデータベースを活用して、各自治体における薬品調達の脆弱性を評価する手法を確立した。

A. 研究目的

温暖化による流域水温の上昇や、連続的な少雨による水質の悪化は、水道障害生物の生育を活性化し、結果として異臭味原因物質の生成を促す懸念がある。異臭味原因物質除去対策としては、オゾン-活性炭処理の他、粉末活性炭（粉炭）の投入が広く行われているが、その使用に伴う環境負荷が高く[1]、そのコスト削減とあわせて、合理的な使用率の決定が求められている。また、粉炭は

突発的な水質事故の対応にも用いられるものであり、大規模災害時の調達の脆弱性についても把握しておくことが重要である。

本研究では、(I)粉末活性炭の異臭味原因物質吸着特性を実験的に明らかとして、その合理的な使用率決定のための基礎情報を整理すること、ならびに、(II)代表者らがこれまで作成してきた浄水薬品調達データベース[2]をもとに、活性炭調達の脆弱性を評価するためのデータベースに発展させることを目的とした。(I)については、(a)水道原水

中での 2-メチルイソボルネオール (2-MIB) の粉末活性炭への吸着特性の把握と、(b)様々な粉末活性炭への 2-MIB とジェオスミン (Geosmin) の吸着挙動を実験的に明らかとした。(II)については、国内の活性炭生産能力を把握し、浄水場とあわせて可視化するデータベースを作成するとともに、活性炭入手における脆弱性の評価手法の確立を試みた。

B. 研究方法

(I)-a 水道原水中での 2-MIB 平衡吸着挙動

水道原水は全国 21 浄水場 (北海道 2, 東北 2, 関東 6, 中部 2, 近畿 5, 中国 1, 九州沖縄 3) において、平成 29 年 9 月 14 日から 26 日の間に採取されたものを用いた。それぞれ A~U とコード名を付したが、後述の結果も含めて、表 1 に示す。各浄水場にてガラス瓶に水道原水を満水の状態で採取し、冷蔵便にて国立保健医療科学院に送付し、4℃にて使用時まで冷暗保存した。吸着実験に際しては、遠心分離器 (テーブルトップ遠心機 4000, 久保田商事) により 3000 rpm で 10 分間遠心分離した後、上清を採取して使用した。

粉炭は日本水道協会規格に適合した市販の木質系粉炭で、50 %粒子径 14.8 μm, 細孔表面積 1,162 m²/g (窒素吸着, BET), 0.41 nm に細孔容積ピーク (窒素吸着, HK プロット) を有するものを使用した。購入後、室温にて保存し、吸着実験及び粒径分布測定には特段の前処理は行わずに供した。細孔分布測定には、ロータリーポンプ真空乾燥下 100℃にて一晩処理した後、ターボ分子ポンプ真空乾燥下 300℃にて 8 時間処理したものを用いた。

超純水を用いた実験や試料の希釈には、超純水製造装置 (MilliQ A10, Millipore) によって製造した水を用いた。2-MIB は、2-メチルイソボルネオール標準原液 0.1 mg/mL-メタノール溶液 (関東化学) を 1,000 μg/L となるように超純水で希釈し、2-MIB 保存溶液とした。

平衡吸着量は、固相マイクロ抽出-ガスクロマトグラフ-質量分析法 (SPME-GC/MS) 用のバイアル瓶を用いた簡便な方法を採用した。まず、粉炭を 0.1 mg から 2 mg の範囲で概ね対数的に等間隔となるように段階的に精秤し、SPME 用バイア

ル (20 mL, Agilent Technology) にそれぞれ添加した。ここに、バイアル瓶内の 2-MIB 濃度が 100 μg/L となるように超純水または各水道原水 9 mL 及び 2-MIB 保存溶液 (1,000 μg/L) 1 mL を加え、すみやかにクリップキャップ (10/20mL 用, Agilent Technology) でバイアルを密栓した。その後概ね 25℃程度の室温下で往復振とう機 (SR-2, TAITEC) を用いて 100 r/min の速度で 24 時間水平振とうした。また、対照として粉炭を添加せずに超純水及び各水道原水 9 mL に 2-MIB 保存溶液 1 mL を加え、上記と同様の操作を行った。

振とう後は、SPME-GC/MS システム (Agilent 5973C GC/MSD, Agilent 及び Multiple Sampler MPS, Gerstel) を用いて、表 2 に示した条件により各試料水の 2-MIB 濃度を測定し、式(1)から吸着量を算出した。

$$q = (C_0 - C) / W_{pac} \dots \dots \dots (1)$$

ここで q は活性炭への吸着量 (μg-吸着質/mg-活性炭), C は粉炭処理後における 2-MIB 濃度 (μg/L), C₀ は対照水 (粉炭無添加) における 2-MIB 濃度 (μg/L), W_{pac} は添加した活性炭添加濃度 (mg/L) である。なお、カビ臭原因物質の標準測定法で行われる NaCl, 内部標準液の添加, サンプルの加温, 及び SPME 装置での攪拌は、吸着平衡への影響を避けるために行わなかった。

振とう終了から 2-MIB 濃度測定までにかかる時間は試料により異なり、24 時間の振とうで吸着平衡に達していなければ、同条件での比較ができなくなる。そこで、測定終了後の試料を適宜翌日再測定して濃度変化がないことを確認した。

この平衡吸着実験で得られた結果は Freundlich 式 (式(2)) にて整理した。

$$q = kC^{1/n} \dots \dots \dots (2)$$

ここで、q は活性炭への平衡吸着量 (μg-吸着質/mg-粉炭乾燥重量), C は平衡濃度 (μg/L), k 及び 1/n は吸着定数である。なお、粉炭の乾重は、使用した粉炭を 105℃で 2 時間以上乾燥させて含水率を測定して算出した。

また、水道原水中のどのような成分が 2-MIB の活性炭吸着に対して競合を引き起こすのかを明らかにするため、遠心ろ過後の各原水の pH, 全有機炭素 (TOC), 紫外 254 nm 吸光度 (λ₂₅₄) 及び三次元蛍光マトリックス (EEM) の測定を行っ

た。pHはpHメーター(LAQUA F-74, 堀場製作所)を用いて測定した。TOCは、全有機炭素計(TOC-V CPH, 島津製作所)を用いて不揮発性有機炭素(NPOC)を測定し、TOC値を求めた。 λ 254測定は、分光光度計(UV-1800, 島津製作所)を用いて、1 cm石英セルで254 nmの吸光度を測定した。EEM測定には3次元蛍光測定装置(Aqualog, 堀場製作所)を用い、励起波長を220~800 nm, 増分3 nm, 蛍光波長を150.34~926.16 nm, 増分2.33 nmとして測定した。また、硫酸キニーネ標準液(10 μ g/L)を用いて蛍光強度の相対化を行った。

さらに、Freundlich式パラメータkと蛍光強度(励起220 nm, 吸収415 nm, Ex220/Em415)を参考とし、それぞれ最低値及び最高値となったPを含めてサンプル全体を網羅する代表的な4つの水道原水(I, P, T, U)について、粉炭処理によるEEM変化の測定、及びゲルクロマトグラフィーによる分子量分画を行った。

EEM測定では、50 mLの樹脂製遠心管(Centrifuge Tube, IWAKI)に、それぞれの原水を40 mL、及び粉炭を3.6 mg(乾燥重量)添加し、約25°Cの室温下で24時間往復振とうを行った。粉炭処理前後に、EEMを測定して比較した。なお、EEM測定にあたっては事前に孔径0.45 μ mのメンブランフィルター(Millex-LH, Millipore)によりろ過した試料を用いた。

分子量分画では、低温高温水槽(PFR1000, EYELA)及び凍結乾燥機(FDU-2100, EYELA)を使用して、1 Lの原水を約40 mLに凍結乾燥濃縮し、膨潤度12~15、分画分子量範囲3~80 kDAのゲル(Sephadex G-75Fine, GEヘルスケアジャパン)を上部、膨潤度4~6、分画分子量範囲1~5 kDAのゲル(Sephadex G-25Fine, GEヘルスケアジャパン)を下部とする2層構造として充填した内径26 mm, 長さ300 mmのカラムを用いて分画した。濃縮した原水試料をカラム上部から10 mL滴下し、ペリスタティックポンプ(PST-100, IWAKI)及びフラクションコレクター(FRACTION COLLECTOR FRC-2120, IWAKI)を用いて1 mL/minの速度で5 mLずつ分画を行い、合計40本の分画試料(フラクション)を得た。また、分子量マーカーとして平均分子量3 kDaのポリエチレングリコール(PEG3,000: ポリエチレングリコ

ール4,000 和光1級, 和光純薬工業)及び分子量1 kDaのポリエチレングリコール(PEG1,000: ポリエチレングリコール1,000 和光1級, 和光純薬工業)の分画を行い、溶出位置を確認した。得られたフラクションはTOC測定を行った。また、代表的なフラクションについてはEEM測定も行った。

(I)-b 様々な粉炭でのカビ臭原因物質吸着挙動

粉末活性炭は、原料や粒径分布の異なる5種類a~eを用いた。このうち、a, b及びdは粉末活性炭として販売されているものをそのまま用い、c及びeは粒状あるいは顆粒状として販売されているものを粉砕し使用した。粒度分布はレーザー回折式粒度分布測定装置(SALD-3100, 株式会社島津製作所)を用いて測定した。Geosmin及び2-MIBは水質試験用(関東化学㈱, 0.1 mg/mL-メタノール溶液)を超純水で希釈したものをを用いた。それぞれの物理学的特性を表4に示す。吸着平衡量は、(I)-aと同様に、固相マイクロ抽出ガスクロマトグラフィー質量分析(SPME-GC/MS)用のバイアル瓶に活性炭を0.03~7.1 mg-dryの範囲で適当な間隔において精秤、添加し、Geosminあるいは2-MIB 100 μ g/L溶液を10 mL加えた。その後、25°Cにて24時間以上往復振盪した後に、25°CにてSPME-GC/MSシステムを用いて分析した。分析条件は(I)-aと同じく表2のとおりである。分析結果はFreundlich式(式(2))で整理した。また、参照として、フェノールの吸着平衡も測定した。フェノール濃度は分光光度計(UV-1800, 島津製作所)を用いて270nmの吸光度で測定した。

(II) 粉炭の調達に関する脆弱性の評価

今回の検討では、粉末活性炭の製造量の集計が入手できなかったため、活性炭としての生産能力を示すこととした。平成14年度から平成26年度の都道府県別の活性炭産出事業者数、出荷金額、出荷数量を化学工業統計[5]から得た。また、秘匿データのない事業者数については、この期間の年平均産出事業者数を計算し、計算結果をGISにて表示した。また、全国の浄水場については、所在地、施設能力、平均配水量のデータ全国浄水場ガイド[3]から得た。所在地のGISマッピングには、東京大学のアドレスマッチングサービス[4]を用い、作図にはArcMAP 10.2.2 (ESRI Japan)を用いた。

調達における脆弱性の評価デモンストレーションは、浄水場 3 ヶ所(X, Y:本州, Z:本州以外)を想定して行った。活性炭工場は、化学工業会社録[5]ならびに現有の浄水薬品データベース[2]を参照として、判明分のみを対象とした。各浄水場からそれぞれの活性炭工場までの距離及び移動時間を、Google マップ[6]にて計算し、それぞれの浄水場から近い順にならべて、グラフにて表現した。

C. 研究結果及び D. 考察

(D)-a 水道原水中での 2-MIB 平衡吸着挙動

超純水及び水道原水 21 試料(A~U)から得られた、pH, TOC, λ_{254} , Freundlich パラメータの結果は、表 1 に記している。なお、24 時間振とう後に 2-MIB 濃度測定を行った後、その翌日に同サンプルの 2-MIB の濃度を適宜測定したが、前日との測定値の差は 5~10 %程度であり、測定誤差と同程度であったため、24 時間振とうにより平衡濃度にはほぼ達したと判断した。

試料における吸着等温線を図 1 に示す。吸着等温線は、検体数が多く混成を避けるため、3つの原水種別に分けて示す。また、図中には決定係数を示すが、水道原水によって実験点数に違いがあることから、ここでの決定係数は自由度調整済み決定係数(R^2)とする。今回の研究では、吸着等温線は少なくとも 4 プロット以上から作成している。その R^2 値をもって再現性を判断した。その結果、ほとんどの系で R^2 値が 0.8 を超え、最低の N においても 0.68 であり、妥当な再現性を有していると判断した。

2-MIB 飽和濃度 $1\mu\text{g/L}$ に対する平衡吸着量 ($\mu\text{g/mg}$)を示す Freundlich 式パラメータ k は、表 2 のとおり、超純水が 3.09 であった。これに対してすべての水道原水の k は超純水のそれよりも低い値となっており、最低は水道原水 P で 1.18, 最高でも原水 K で 2.32 と、超純水の 38 から 75%の値となった。

原水水質と Freundlich 式パラメータ k の関係を図 2 (pH), 図 3 (TOC), 図 4 (λ_{254}) に示す。なお、図中に示す決定係数 R^2 は自由度調整を行っていない。pH については、 k に対する影響はほとんどなかった。一方、TOC, λ_{254} ともに値が高くなると k が低下する、つまり 2-MIB の吸着量が低下する傾向にあり、TOC では、 $R^2=0.19$ (超純水を含めると 0.39), λ_{254} では、0.26 (超純水を含めると 0.40) となった。このことから、原水中の有機物が 2-MIB の吸着量を低下させてい

るものと推測される。

EEM については、全ての原水において Ex220/Em415 付近に特徴的なピークが確認された。Ex220/Em415 と Freundlich 式パラメータ k との関係を図 5 に示す。さきの TOC や λ_{254} と同様に、Ex220/Em415 の増加に伴い 2-MIB 粉炭吸着量の低下がみられた。またその相関性は、TOC, λ_{254} と比較して高かった ($R^2=0.30$ (超純水を含めると 0.51))。

以上のことから、溶存有機物、特に λ_{254} や、Ex220/Em415 の高い物質が、粉炭の 2-MIB 平衡吸着において競争的に働くことがわかった。また、Ex220/Em415 における蛍光強度で最も高い相関性が確認され、粉炭必要量の予測を行ううえで適した指標であると考えられた。

水道原水 I, P, T, U における粉炭処理前後の EEM の変化は、強度の差はあるものの同じ傾向を示した。一例として水道原水 P の粉炭処理前後の EEM の結果を図 6 に示す。上段は粉炭処理前、下段は処理後の EEM 画像である。また、吸着前後の TOC 及び EEM 強度 (対象波長 $\pm 10\text{nm}$ の強度平均値) の変化を表 3 に示す。先述のとおり粉炭処理前の水道原水は Ex220/Em415 周辺を中心に蛍光強度ピークがみられ、粉炭処理後は、それが大きく減少している。さらに、表 3 のとおり TOC の除去率に対して Ex220/Em415 の除去率が 1.4~2.1 倍程度高くなっている。このことから、Ex220/Em415 付近の成分が優先的に吸着され、2-MIB との競合吸着に関わっている可能性が示唆された。

さらに、水道原水 I, P, T, U の分子量分画による各フラクションの TOC 測定結果を図 7 に示す。4 種の水道原水で共通してフラクション No.25 前後の位置に TOC のピークが現れた。PEG3000, PEG1000 の測定結果から分子量 3 kDa 及び 1 kDa がフラクション No.18, No.28 の位置にあることを確認しており、これらの水道原水でみられた TOC ピークは 1~3 kDa 程度の比較的低い分子量を持つことが分かった。また、各水道原水を濃縮した試料全体に占めるフラクション No.18~28 の TOC の割合は 20~46%であった。

フラクション No.18~28 の TOC 合算値、すなわち 1~3 kDa 程度の分子の存在量と Freundlich 式パラメータ k の関係を図 8 に示す。試料が 4 点と少ないが、1~3 kDa 程度の分子の存在量とパラメータ k の間には相関があり、この範囲の分子量の物質が多く存在すると 2-MIB の粉炭吸着量を低下させることが示唆

された。

以上より, Ex220/Em415 付近に特徴的なピークを有する, 分子量 1~3 kDa 程度の有機物が, 水道原水中での 2-MIB 平衡吸着に対する競合成分の一つと推測された。

(I)-b 様々な粉炭でのカビ臭原因物質吸着挙動

2-MIB, Geosmin, 及びフェノールの吸着等温線を図 9(石炭系粉炭), 及び 10(木質・ヤシ殻系粉炭)に示す。また, Freundlich 式にフィッティングした場合の各パラメータを, 表 5 に示す。 Freundlich パラメータ k すなわち $1 [\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}]$ に対する吸着量は, Geosmin の吸着量は 8.2~31.9 $\mu\text{g/g}$ であったのに対し, 2-MIB は 0.8~3.4 $\mu\text{g/g}$ であり, 概ね 1 オーダー異なる吸着量となり, 今回使用した活性炭に対しては, Geosmin のほうが吸着除去しやすいことがわかった。また活性炭の種類で見た場合, 石炭系(図 9)では, フェノールと Geosmin では, 粉炭 c のほうが吸着量が多かったが, 2-MIB では粉炭 d のほうが多くなった。粉炭 c と d の物理学的構造を比較すると, 表面積には大きな違いはないが, 粉炭 d のほうが, ミクロ孔に比べてメソ+マクロ孔が多い。この結果から, 2-MIB は石炭系活性炭では, より粒径の小さい, あるいはメソ孔, マクロ孔の多い活性炭での平衡吸着量が多くなった。一方, 木質・ヤシ殻系では, Geosmin, 2-MIB ともに, $a > e > b$ の順で吸着量が多くなった。フェノールについては a と e で測定したが, 両者に差は見られなかった。

(II) 粉炭の調達に関する脆弱性の評価

全国の都道府県別活性炭産出状況ならびにくつかの生産工場, 及び浄水場のデータベースが作成された。このデータベースをもとに作図した, 全国の活性炭産出事業者数及び浄水場位置を図 11 に示す。図より, 浄水場の全国的な広がりに対して, 活性炭製造事業所は, 関東から西日本にかけて多く, 北日本で少ないことがわかる。粉炭は輸入によるものもあり, 必ずしも国内の生産能力だけが供給能力となるわけではないが, 化学工業統計に基づいた形で国内の活性炭供給能力が可視化できた。

また, 各浄水場 X, Y, Z から工場までの距離と輸送時間をそれぞれ図 12, 13 に示した。図より, 浄水場 Z は最も近いところで 1,370 km, 時間として 32 時間を要し, その調達におけるエネルギーが高いことがわかる。一方, X, Y を比較し

た場合, X は 5 時間以内に 9 ヶ所の工場があるのに対して, Y は 5 ヶ所である。大規模災害の状況により解釈は異なるが, 例えば道路の寸断等により, 最寄りの工場からの調達が困難となった場合には, Y のほうが X より脆弱であるといえる。

ここで示したものは調達方法のデモンストレーションであり, 工場については今回情報が入手できたもののみを対象としている。さらに詳細な検討には, 今後, 工場に関する情報をアップデートする必要があるが, 災害に対する脆弱性評価のための活性炭の生産と需要のデータベースの構築とあわせ, その評価手法を例示することができた。

E. 結論

(I)-a 水道原水中での 2-MIB 平衡吸着挙動

全国 21 か所の水道原水中での 2-MIB の粉炭への平衡吸着量を実測し Freundlich 式で整理したところ, 1 $\mu\text{g/L}$ の 2-MIB 平衡濃度下では, 超純水中に比べて, 水道原水では平衡吸着量が 38~75%に低下した。また, 励起波長 220 nm/蛍光波長 415 nm の蛍光強度と吸着量低下に比較的高い線形相関関係がみられた。また, TOC, λ_{254} についてもある程度の相関性がみられた。さらに, 4 か所の水道原水における吸着前後の EEM の変化, 及び分子量分布測定の結果から, 分子量 1~3 kDa 程度の Ex220/Em415 付近に特徴的なピークを有する有機物が, 水道原水中での 2-MIB 平衡吸着に対する競合成分の一つと推測された。

(I)-b 様々な粉炭でのカビ臭原因物質吸着挙動

5 種類の粉炭に対する Geosmin と 2-MIB の吸着量を確認したところ, Geosmin のほうが吸着されやすいことが確認された。また, 石炭系粉炭では, 構造の違いが吸着質に与える影響の違いが確認でき, 今回用いた 2 種の粉炭では, 2-MIB はより粒径の小さい, あるいはメソ孔・マクロ孔が多い粉炭により多く吸着する傾向がみられた。

(II) 粉炭の調達に関する脆弱性の評価

国内の活性炭生産能力と浄水場の分布を可視化できるデータベースを作成した。また, このデータベースを活用して, 各自治体における薬品調達の脆弱性を評価する手法が例示できた。

F. 健康危険情報

該当なし

G. 研究発表

1) 論文発表

該当なし

2) 学会発表

下ヶ橋雅樹，藤井隆夫，高梨啓和，秋葉道宏．水道におけるカビ臭物質の吸着に与える活性炭構造の影響，化学工学会第 83 年会，2018 年 3 月，吹田市，同講演オンライン要旨 O220.

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定も含む。）

1) 特許取得

該当なし

2) 実用新案登録

該当なし

3) その他

該当なし

I. 参考文献

[1] 下ヶ橋雅樹，高梨啓和，秋葉道宏（2015）浄水処理プロセスにおける生物障害のエネルギー環

境負荷，化学工学会第 80 年会；2015 年 3 月 19～21 日，東京．要旨集 USB メモリ．

[2] 秋葉道宏，高梨啓和，下ヶ橋雅樹（2015）生物障害に対応した省エネルギー型水道システムの開発，In 厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）「水道システムにおける生物障害の実態把握とその低減対策に関する研究」平成 26 年度 総括・分担研究報告書（代表：秋葉道宏）p. 65-71.

[3] 全国浄水場ガイド 2016（水道産業新聞社）

[4] 経済産業省，工業統計調査．<http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kougyo/result-2.html>

[4] CSV アドレスマッチングサービス（東京大学空間情報科学研究センター）（<http://newspat.csis.u-tokyo.ac.jp/geocode/>）

[5] 化学工業日報社編（2016）化学工業会社録 2017 年版．

[6] Google マップ（<https://www.google.com/maps/>）

J. 謝辞

(I)-a においては，全国の水道事業者から水道原水のご提供をいただきました。また，(I)-a は国立保健医療科学平成 29 年度院水道工学研修の一部として実施し，当研修の研修生であった新潟市水道局松井利恭氏，千葉県水道局増田太郎氏，横浜市水道局鈴木知美氏に全面的な協力を得ました。記して謝意を表します。

表 1 実験に使用した原水とその水質及び Freundlich 式パラメータ

原水種別*	pH	TOC (mg/L)	UV 254nm (-)	Freundlich式 パラメータ	
				k	1/n
超純水	-	ND	ND	3.09	0.56
A ①	7.7	1.5	0.059	1.57	0.41
B ①	7.6	1.2	0.036	1.88	0.37
C ①	7.9	1.5	0.039	2.10	0.48
D ①	7.7	1.1	0.042	1.57	0.43
E ①	7.6	1.1	0.027	1.90	0.40
F ①	7.4	1.2	0.036	1.51	0.35
G ③	7.5	1.4	0.046	1.60	0.41
H ③	7.3	1.0	0.048	1.88	0.50
I ①	7.7	2.1	0.105	1.36	0.47
J ①	7.6	1.1	0.035	1.73	0.35
K ②	7.5	1.9	0.059	2.32	0.62
L ①	7.8	1.4	0.047	1.22	0.34
M ①	7.6	1.4	0.047	1.89	0.49
N ②	7.6	1.6	0.028	1.60	0.36
O ①	7.6	0.9	0.033	1.85	0.50
P ②	8.3	3.5	0.099	1.18	0.36
Q ②	7.6	2.3	0.078	1.57	0.42
R ②	7.4	2.2	0.098	1.48	0.47
S ③	8.0	1.7	0.053	1.53	0.33
T ①	7.8	1.3	0.038	2.20	0.45
U ①	7.7	1.6	0.036	2.01	0.58

* 水道統計⁵⁾をもとに、①:表流水(自流)かつ/またはダム放流、②:湖沼水またはダム直接、③:その他(①と②の混合、及びそれ以外) に分類

表 2 SPME-GC/MS 測定条件

SPME	Multipurpose Sampler MPS (GERSTEL Corp.)
GC/MS	MSD 5983 (HEWLETT PACKARD Corp.)
SPME	ファイバー: 65 μ m PDMS-DVB Coating 試料量: 10mL 加熱温度: 25 $^{\circ}$ C 抽出時間: 30min
GC	カラム: DB-5ms (0.25mm I.D*60m, df=0.1 μ m) 注入法: スプリットレス 注入温度: 250 $^{\circ}$ C オープン温度: 40 $^{\circ}$ C(1min)-(10 $^{\circ}$ C/min)-250 $^{\circ}$ C(1min)
MS	注入口温度: 250 $^{\circ}$ C イオン源温度: 230 $^{\circ}$ C モニターイオン: (SIM) 95, 107, 108

表 3 粉炭処理による TOC 及び EEM 除去率比較

	TOC (mg/L)			EEM 220/415			EEM 225/295		
	処理前	処理後	除去率	処理前	処理後	除去率	処理前	処理後	除去率
	I	2.3	1.4	39%	4.8	1.6	67%	1.3	0.9
P	3.9	2.4	38%	5.5	1.2	78%	2.6	1.1	58%
T	1.4	0.5	64%	2.5	0.3	88%	1.3	0.5	62%
U	1.9	0.9	53%	2.3	0.5	78%	0.9	0.2	78%

表 4 (I)-b にて使用した粉炭の粒径, 及び細孔分布

活性炭	材料	d ₅₀ [μm]	ミクロ孔	メソ孔	マクロ孔	BET 表 面積 [m ² /g]
			(d=0.3~2nm) [cm ³ g ⁻¹] (割合%)	(d=2~50 nm) [cm ³ g ⁻¹] (割合%)	(d=50nm~) [cm ³ g ⁻¹] (割合%)	
a	木質	15	0.47 (83)	0.08 (14)	0.02 (3)	1,163
b	木質	9	0.40 (35)	0.60 (53)	0.14 (12)	955
c	石炭	30	0.39 (68)	0.16 (28)	0.02 (4)	970
d	石炭	23	0.39 (78)	0.10 (20)	0.01 (3)	913
e	ヤシ殻	42	0.65 (86)	0.08 (11)	0.02 (3)	1,578

表 5 Freundlich パラメータ

AC	原料	2-MIB		Geosmin		Phenol	
		k	1/n	k	1/n	k	1/n
a	木質	3.43	0.57	31.87	0.81	4.16	0.32
b	木質	1.09	0.37	8.18	0.51	-	-
c	石炭	0.84	0.58	16.37	0.46	8.70	0.28
d	石炭	1.31	0.55	8.78	0.63	8.07	0.23
e	ヤシ殻	2.57	0.65	17.35	0.63	5.10	0.32

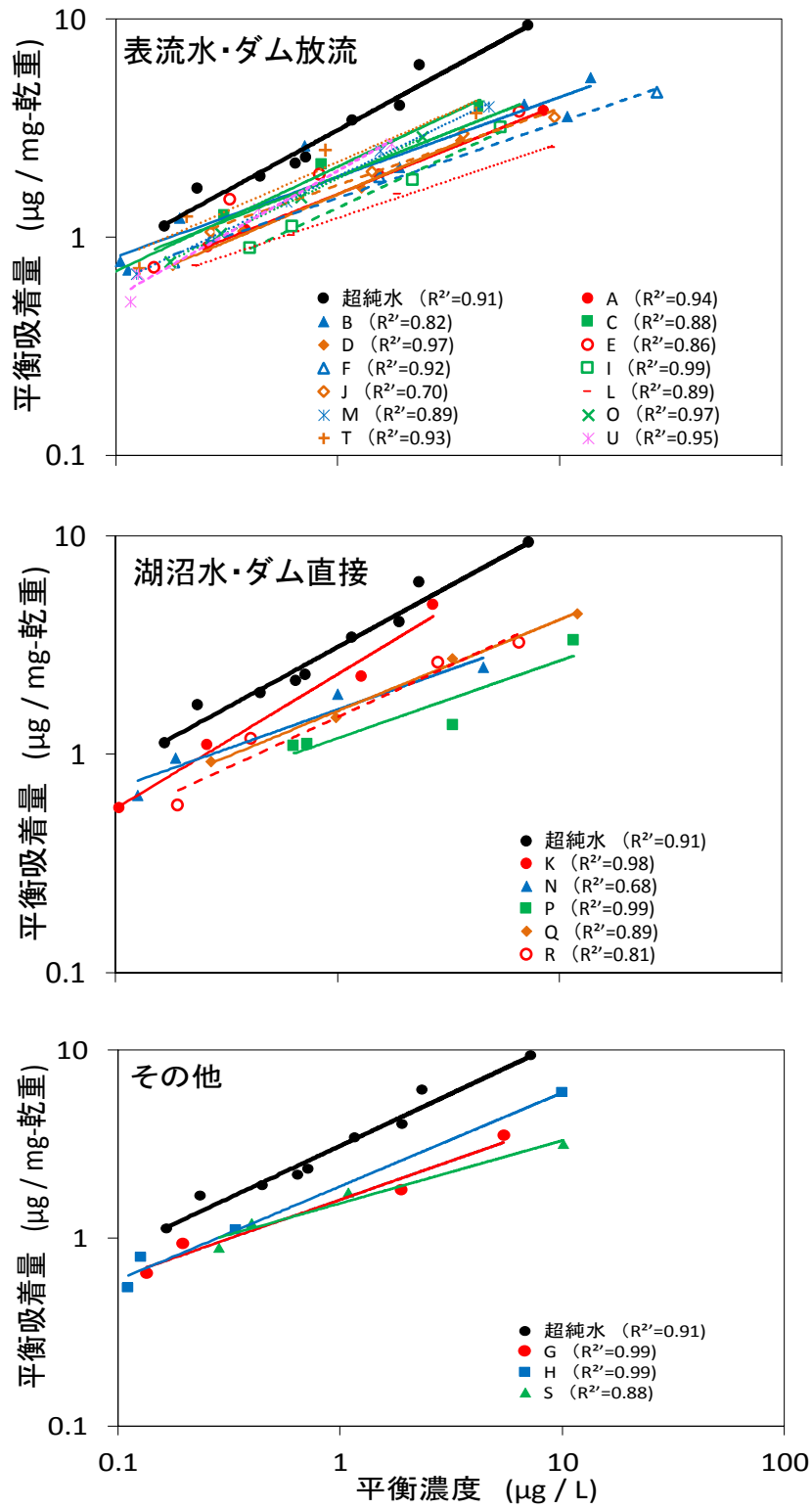


図1 各水道原水中での2-MIB吸着等温線

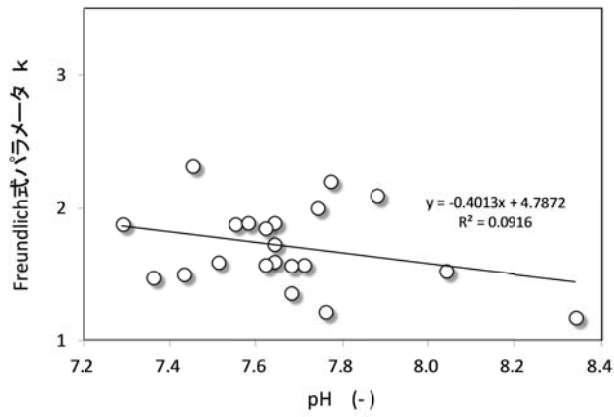


図2 原水 pH と 2-MIB 吸着量の関係

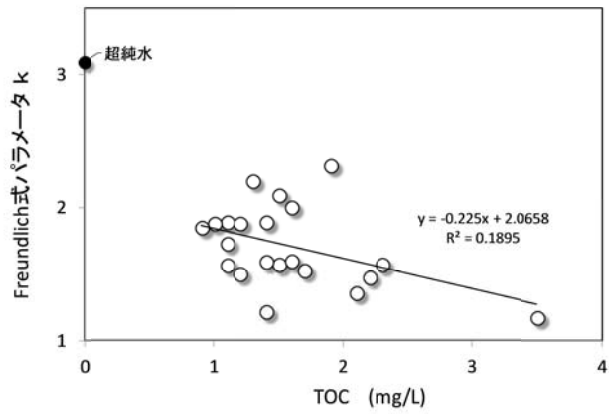


図3 原水 TOC と 2-MIB 吸着量の関係

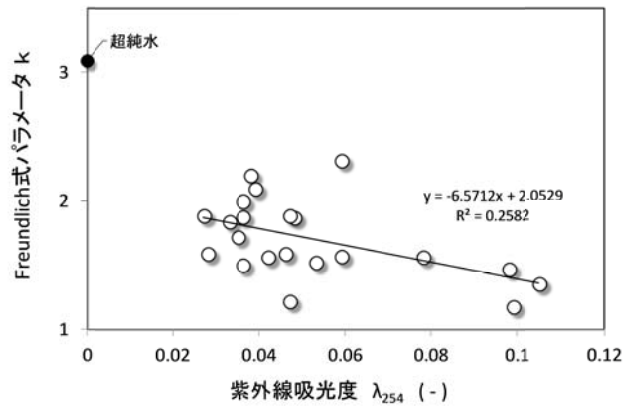


図4 λ_{254} と 2-MIB 吸着量の関係

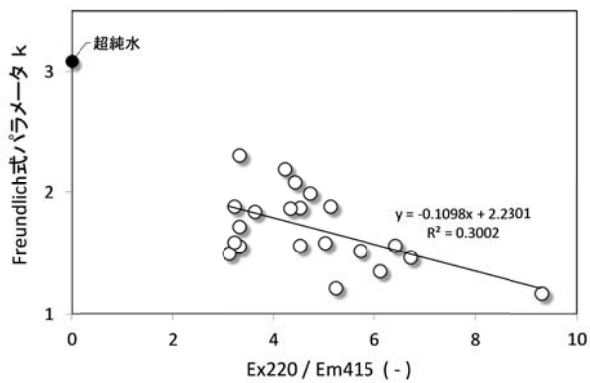


図5 Ex220/Em415 相対蛍光強度と 2-MIB 吸着量の関係

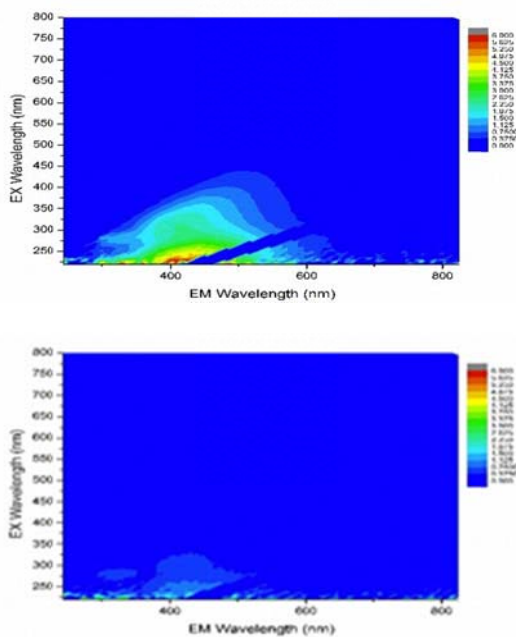


図6 水道原水 P の EEM (上段：粉炭処理前, 下段：粉炭処理後)

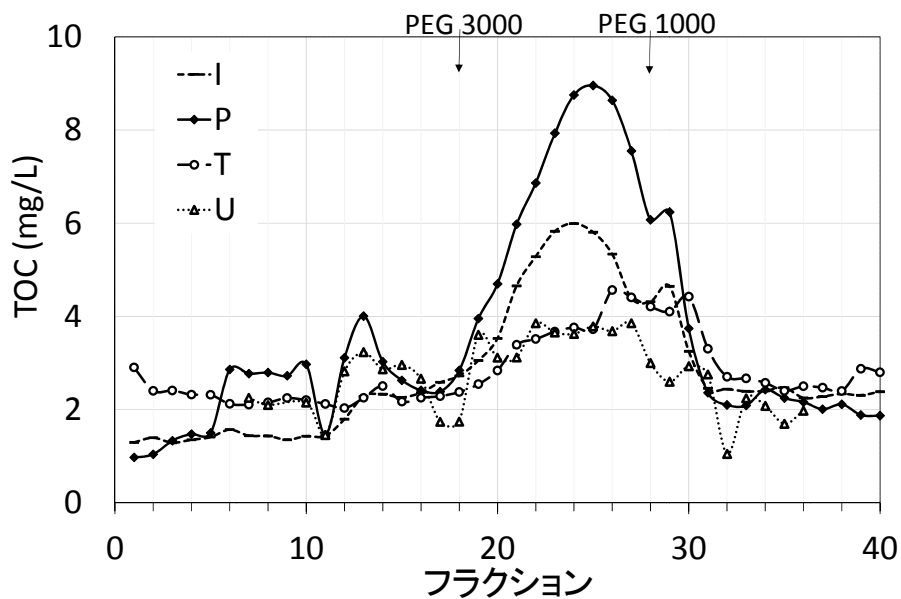


図7 分子量分画でのフラクションごとの TOC

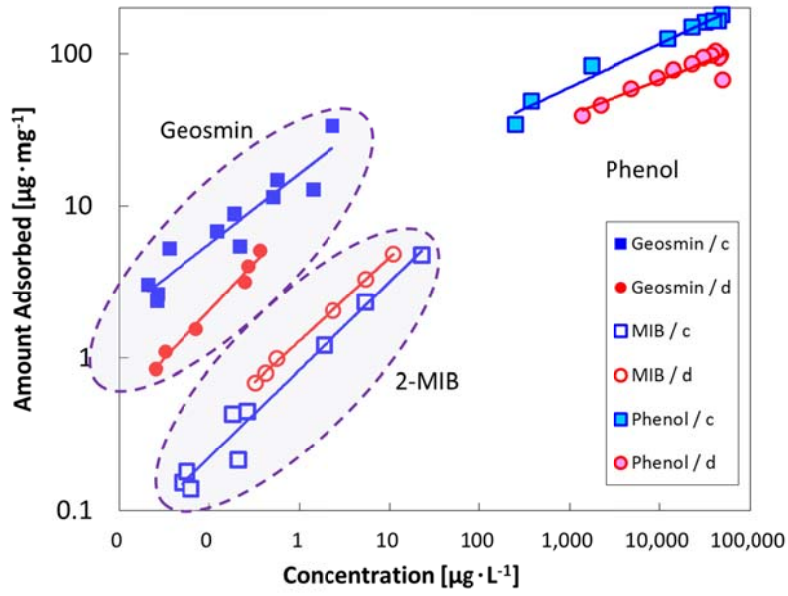


図9 石炭系粉炭への各物質の吸着

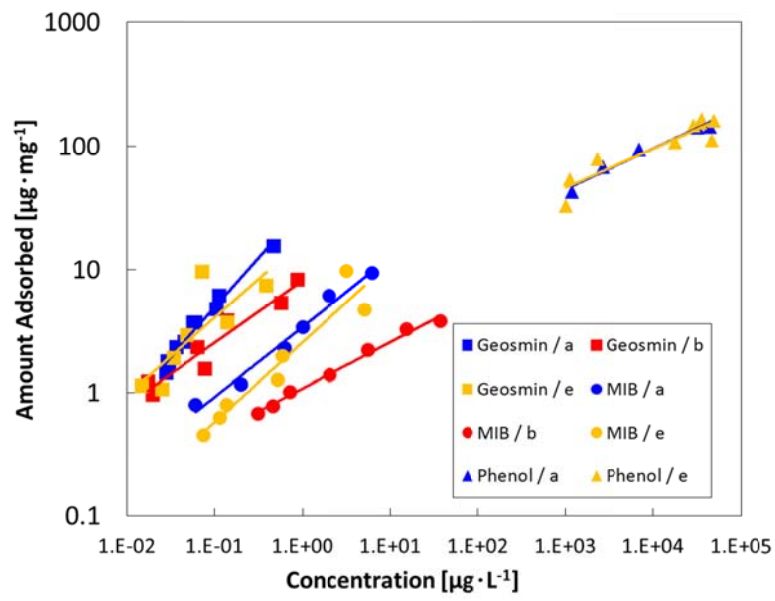


図10 木質・ヤシ殻系粉炭への各物質の吸着

都道府県別事業所数；
H14～H26年度の各年平均

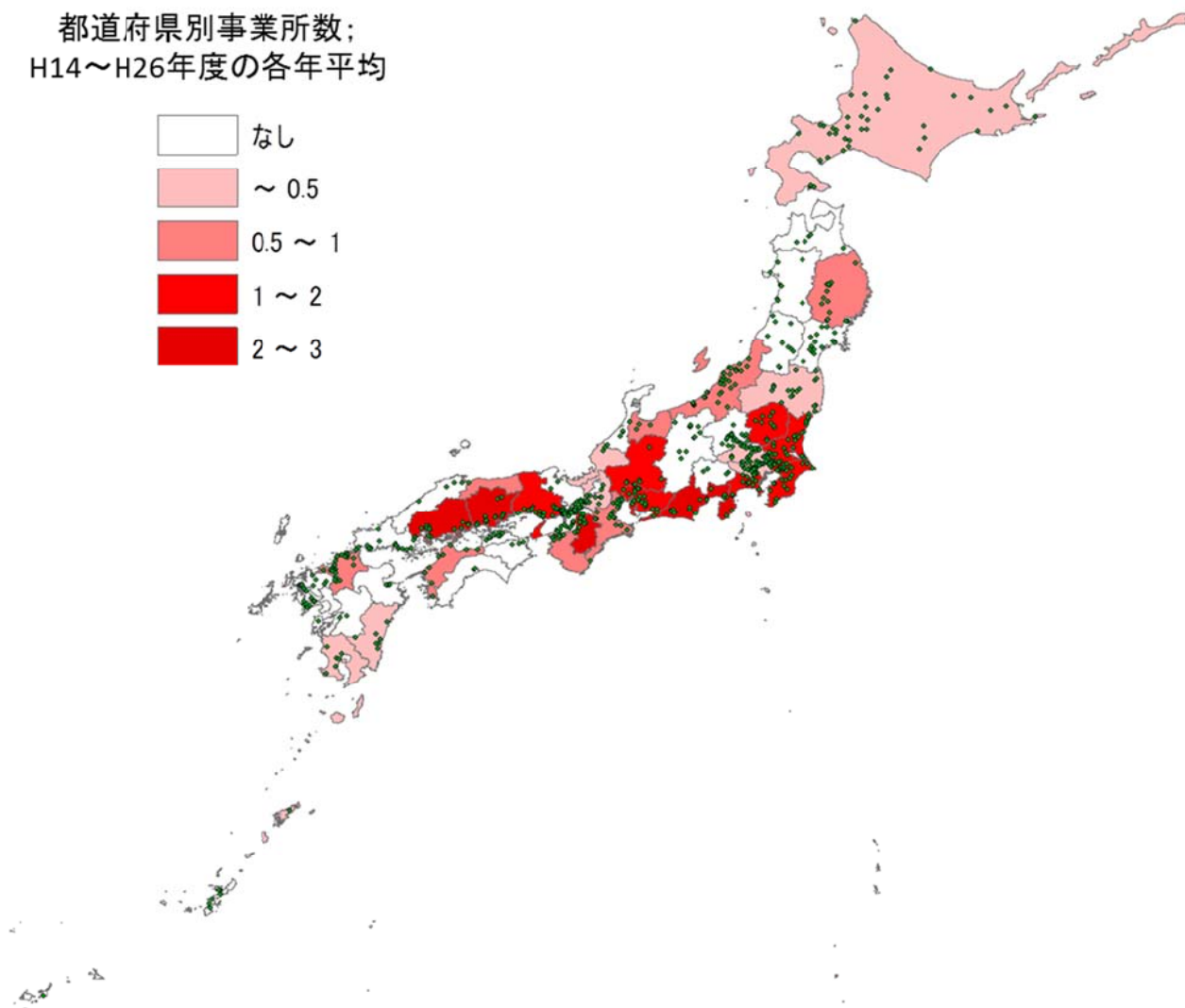
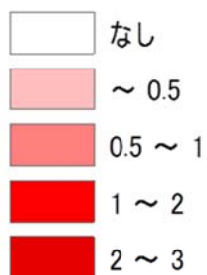
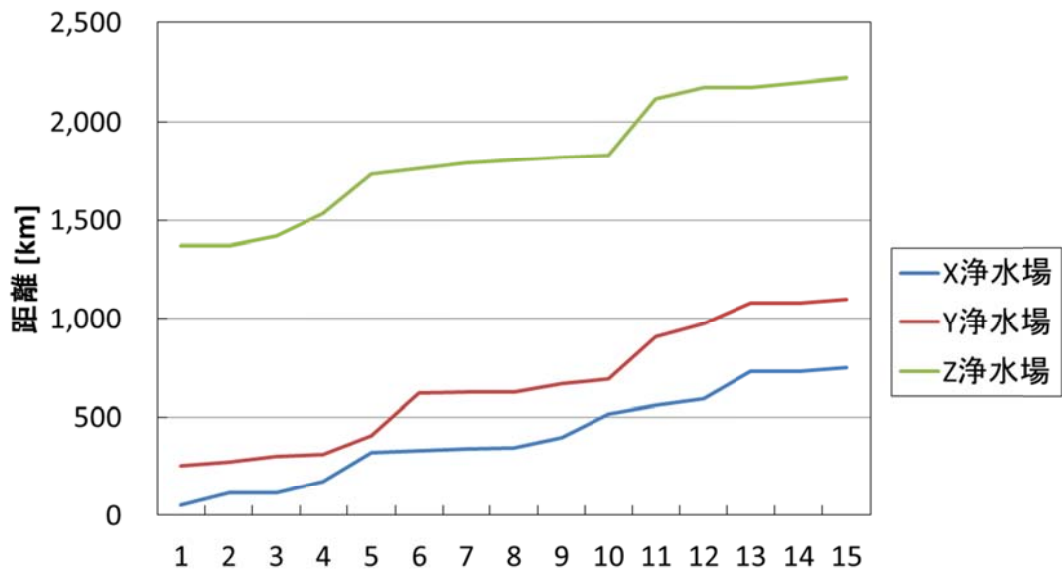
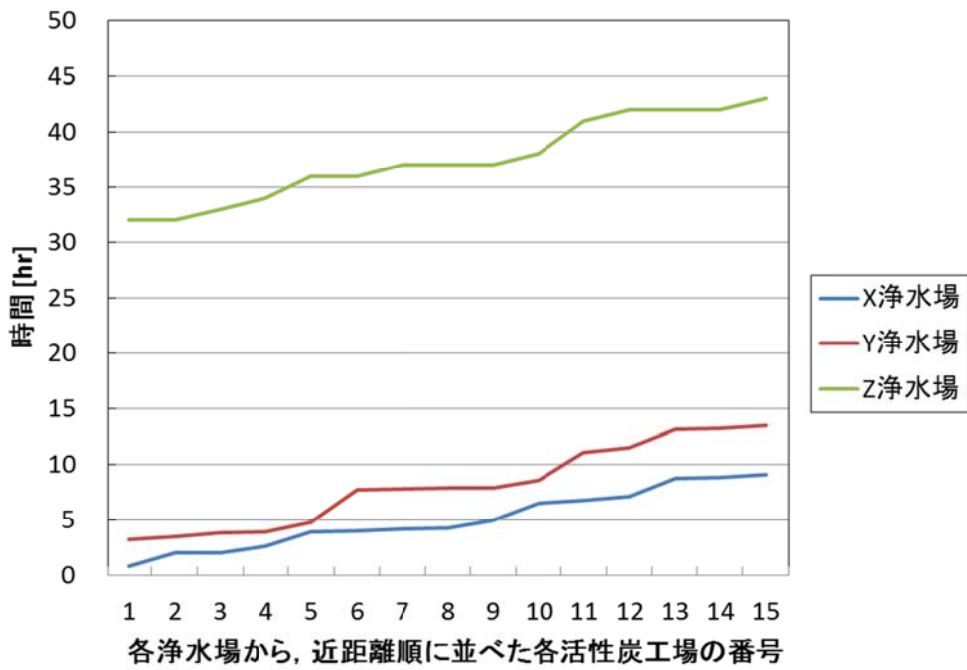


図 11 都道府県別活性炭製造事業所数と浄水場
(※浄水場は全国浄水場ガイド掲載分で膜処理浄水場を除く)



各浄水場から、近距離順に並べた各活性炭工場の番号

図 12 浄水場から活性炭工場までの距離



各浄水場から、近距離順に並べた各活性炭工場の番号

図 13 浄水場から活性炭工場までの輸送時間