

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」
分担研究報告書

研究課題：生物障害に対応した持続的な水道システムの検討

研究代表者 秋葉 道宏 国立保健医療科学院 統括研究官
分担研究者 高梨 啓和 鹿児島大学大学院理工学研究科 准教授
研究協力者 下ヶ橋 雅樹 国立保健医療科学院 主任研究官

研究要旨

本研究では、災害の発生に対する浄水場の脆弱性を薬品確保の観点から検討するため、また、生物障害の発生対策の必要性などをエネルギー消費量および対策コストの観点から評価するために、昨年度実施した浄水場へのアンケート調査の結果を解析する。今年度は、浄水薬品の製造工場などの情報の集約、生物障害の発生によって増加する浄水薬品製造量の推算、増加した量の生産に伴う電力消費増加量および二酸化炭素排出増加量の推算を行った。また、東日本大震災時の薬品確保状況の調査や、災害対策マニュアルの整備状況の調査を行った。さらに、地理情報システムを用いて、浄水薬品の輸送による二酸化炭素排出増加量を推算する手法を検討した。

浄水薬品の調達先として、薬品工場名、取扱薬品、所在地、電話番号など、151 項目の情報を集約した。また、東日本大震災発生時には、広範囲で浄水薬品の確保が問題となったことが分かった。さらに、災害時の薬品確保マニュアルの整備率が低く、その整備の推進が必要であることが示された。一方、電力消費量および二酸化炭素排出量の増加量を、アンケート調査結果と各種原単位調査結果に基づいて推算した。その結果、浄水処理に要する電力消費量と二酸化炭素排出量の年間値は、それぞれ 0.11%、0.79%増加すると推算された。ただし、この推算結果は、浄水薬品の輸送による二酸化炭素排出量の変化を含んでいないため、今後、これを推算する必要がある。そこで、地理情報システムを用いてこれを推算する方法を確立した。今後は、地理情報システムを用いた浄水薬品の輸送による二酸化炭素排出量の推算方法を用いて推算を行う。

A. 研究目的

本研究では、浄水薬品の調達先の情報を集約するとともに、災害に対する対策マニュアルの整備状況を調査することによって、災害発生時の減災対策を薬品確保の観点から検討することを目的とした。このうち、本年度は、浄水薬品の調達先の情報および災害発生時の薬品確保マニュアルの整備状況を集約した。

また、国内の主要なダム貯水池および生物障害が発生している典型的な浄水場を対象としてヒアリング調査およびアンケート調査を実施し、対策に要する電力量・薬品使用量、費用等を調査することによって、生物障害の発生対策の必要性などをエネルギー消費量およびコストの観点から評価することを目的とした。このうち、本年度は、エネルギー消費量の変化量を推算する手法を開発した。

B. 研究方法

昨年度実施したアンケート調査を集計し、浄水薬品の製造工場または代理店（以下、薬品工場等）の情報を集約（リスト化）した。その際、NTT タウンページ株式会社が運営する i タウンページ¹⁾

や Google Inc.が運営する Google マップ²⁾を用いて、薬品工場等の名称および所在地を確認した。さらに、当該企業のホームページで所在地を確認した。集約する情報は、薬品工場等名、取扱薬品、郵便番号、所在地、電話番号とした。また、東日本大震災が発生した際に薬品確保に支障が生じたか否かを調査するとともに、災害時の薬品確保マニュアルの整備状況を調査した。

さらに、アンケート調査によって得られた生物障害発生時（以下、障害時）の浄水薬品注入率の変化から、必要な浄水薬品製造量の変化を算出した。算出は、障害時の浄水薬品の使用量から、生物障害が発生していない平常時の浄水薬品の使用量を差し引き、1 日平均送水量および障害発生日数を乗じることによって行った。算出した変化量をもとに、その変化量の浄水薬品を製造するのに必要な電力消費量（以下、間接的な電力消費量）および二酸化炭素排出量（以下、間接的な二酸化炭素排出量）を推算した。推算は、式（1）および（2）により行った。式（1）および（2）に供するデータはアンケート調査結果から得られた水道事業体のデータなので、全国のすべての浄水場を対象とした場合の値（以下、全国値）を推算

する必要がある。全国値の推算は、アンケート調査により求めた結果を、調査したすべての浄水場の1日平均送水量と、当該地域に立地するすべての浄水場の1日平均給水量の比で除す(割り戻し計算を行う)ことによって行った。本研究でアンケート調査を実施して回答を得た浄水場の一日平均送水量(平成22年10月~24年9月)に対する全国の一日平均給水量(平成22年度)の占める割合は46.4%であった。

二酸化炭素排出量については、浄水薬品の製造(間接的な二酸化炭素排出量)だけでなく浄水薬品の輸送によっても発生するため、地理情報システム(Geographic Information System: GIS)を用いて、浄水薬品の輸送距離を推算する手法を検討した。すなわち、東京大学空間情報科学研究センターのCSVアドレスマッチングサービス³⁾を使用して、アンケート調査によって集約された各種住所の緯度経度情報を取得し、Arc GIS(ESRI)によりシェープファイルに変換した。また、国土数値情報の道路データ(SHP・GML)を用いて、Arc GIS(ESRI)によりネットワークデータセットを作成した。さらにこれらのGISデータを用いて、浄水薬品の輸送距離を推算する手法を検討した。

検討した方法を用いて、6事業者13浄水場について予備的な解析を行った。対象浄水場が複数の薬品工場等から浄水薬品を調達していた場合は、すべての薬品工場等の解析を行い、結果を平均した。解析結果から、輸送による二酸化炭素排出量を推算した。推算は、改良トンキロ法⁴⁾を用いて(3)式により行った。その際、浄水薬品は、軽油を使用した10トントラックで輸送し、往路は積載率100%、復路は積載率10%(空荷)と仮定した。また、改良トンキロ法燃料使用原単位として、軽油を燃料とした小型・普通貨物車の輸送トンキロ当たりの燃料使用量を、積載率10%のときに0.222 L/(t・km)、積載率100%のときに0.0342 L/(t・km)とした⁴⁾。軽油の単位発熱量を38.2 GJ/kL、排出係数を0.0187 t-C/GJとした⁴⁾。

$$\text{電力消費変化量 [kWh]} = (\text{障害時の薬品注入率} - \text{平常時の薬品注入率}) [\text{g/m}^3] \times \text{平均送水量} [\text{m}^3/\text{日}] \times \text{障害発生日数} [\text{日}] \times \text{電力原単位} [\text{kWh/t}] \times 10^{-6} \dots (1)$$

$$\text{二酸化炭素排出変化量 [kg-CO}_2] = (\text{障害時の薬品注入率} - \text{平常時の薬品注入率}) [\text{g/m}^3] \times \text{平均送水量} [\text{m}^3/\text{日}] \times \text{障害発生日数} [\text{日}] \times \text{CO}_2\text{原単位} [\text{kg-CO}_2/\text{t}] \times 10^{-6} \dots (2)$$

$$\text{CO}_2\text{排出量 [t-CO}_2] = \text{輸送トンキロ} [\text{t}\cdot\text{km}] \times \text{改良トンキロ法燃料使用原単位} [\text{L/t}\cdot\text{km}] \times 1/1,000 \times \text{単位発熱量} [\text{GJ/kL}] \times \text{排出係数} [\text{t-C/GJ}] \times 44/12 \dots (3)$$

C. 研究結果及びD. 考察

1) 浄水薬品調達に関する調査

1-1) 浄水薬品工場等の情報集約

薬品工場等を所在地の情報を基に計数した結果、151件の薬品工場を集約することができた。1カ所の薬品工場が複数の種類の浄水薬品を製造している場合があるため、浄水薬品の供給元の情報を計数すると179件であった。

表1に示すように、全国を6つの地域に分割し、薬品工場等の立地場所を地域ごとに計数した。表1に示したように、全国をほぼ網羅する形で薬品工場等の情報を集約することができた。しかし、酸剤とアルカリ剤については、地域によっては複数箇所の薬品工場等を集約することができなかった。また、本研究におけるアンケート調査では、記載されている薬品工場等の情報が、生産工場の情報なのか、販売代理店の情報なのかを判別できない場合があった。このため、表3に集約した情報の中には、生産工場ではなく、販売代理店の情報が含まれていると考えられる。地震発生時に生産工場が被災して浄水薬品の供給が滞った場合の対策などに表3を利用する際には、生産工場の情報のみが集約されていることが望ましい。しかし、集約されている情報が販売代理店の情報であった場合でも、その販売代理店を通じて被災を免

表1 浄水薬品工場等の情報集約結果

	消毒剤	凝集剤	粉末活性炭	酸剤	アルカリ剤	合計
北海道・東北	6	10	15	3	0	39
関東	7	15	17	10	6	53
中部	5	9	12	1	9	31
関西	5	12	13	8	9	38
中国・四国	8	12	10	0	8	34
九州・沖縄	7	8	10	6	11	36
合計	30	54	44	27	43	151

れた生産工場の情報を得ることができる場合があると期待される。

1 - 2) 災害時の薬品確保に関する調査

東日本大震災時の薬品確保については、図1に示すように、被災地域（復興特別区域）に立地する15箇所の事業体中10箇所から支障があったと回答が寄せられた。また、復興特別区域以外の地域に立地する64箇所の事業体で支障があったと回答したのは10箇所であり、被災地以外も浄水薬品の確保に問題が生じるケースが見受けられた。このことから、東日本大震災発生時には、広範囲で浄水薬品の確保が問題となったことが分かる。

災害時の薬品確保マニュアルの整備状況については、マニュアルが整備されていると回答した事業体は、調査した79件中4件であった。また、東日本大震災の被災地域（復興特別区域）に限定すると、アンケート調査を実施した時点においては整備件数が0件であった。以上のことから、マニュアル整備を推進する必要性が示された。

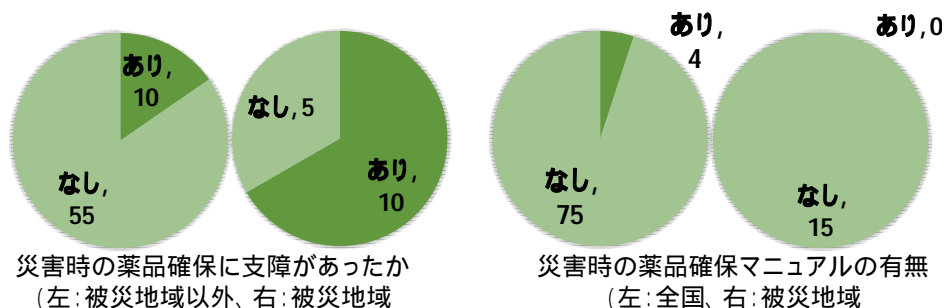


図1 災害発生時の薬品確保に関するアンケートの集約結果

表2 浄水薬品の製造にかかる電力消費原単位

原単位区分	電力原単位	単位
次亜塩素酸ナトリウム	25	kWh/t ⁽⁵⁾
液化塩素	2166	kWh/t ^(6),7)
PAC	667	kWh/t ⁽⁵⁾
硫酸バンド	4	kWh/t ⁽⁵⁾
活性炭粉状	752	kWh/t ⁽⁸⁾
硫酸	0.76	kWh/t ⁽⁹⁾
炭酸ガス	363.64	kWh/t ⁽¹⁰⁾
石灰・消石灰	2.61	kWh/t ⁽¹¹⁾
苛性ソーダ	2445	kWh/t ⁽⁶⁾

2) 浄水薬品の製造によるエネルギー消費量

2 - 1) 原単位調査

昨年度実施した原単位調査により、必要な原単位のほぼすべてを調査することができた。しかし、粉末活性炭製造における電力消費原単位のように、データが得られていなかった項目があった。そこで、昨年に引き続き、電力消費原単位を調査した。

調査により得られた原単位を、昨年度調査した原単位とあわせて表2に示す。表2に示した原単位のうち液化塩素の原単位は、直接的な情報を得ることができなかった。このため、イオン交換膜法で苛性ソーダを1t製造する際に副生物として0.886t生成する³⁾ことに着目し、苛性ソーダの製造にかかる電力消費原単位に0.886を乗じることで算出した。

2 - 2) 電力消費変化量の推算

アンケート調査で生物障害の発生が報告された浄水場を対象として、間接的な電力消費変化量を推算した。推算した結果、多くの浄水場・多くの障害発生ケースでは、生物障害の発生に伴って

浄水薬品の注入率が上昇し、間接的な電力消費量が増加していた。

しかし、一部の浄水場・一部の障害発生ケースでは、薬品の種類や障害の種類によっては、生物障害の発生に伴って浄水薬品の注入率が低下していた。また、当該浄水場で使用していた複数種類の薬品使用量が障害の発生に伴って増減し、当該浄水場の当該期間における浄水場全体での間接的な電力消費量が減少していたケースが見受けられた。そのようなケースは、障害の発生件数基準で9件報告されており、その内訳は異臭味障害およびろ過漏出障害がそれぞれ4件、凝集沈殿障害が1件であった。障害の発生に伴って使用量が減少していた主な浄水薬品は、異臭味障害発生時の消毒剤、凝集剤、アルカリ剤、およびろ過漏出障害発生時の消毒剤であった。障害発生時に薬品使用量が低下している原因については別途検討することが望まれるが、前塩素処理の停止や、障害が発生していない近隣の浄水場からの送水量の増加に伴う、障害が発生した浄水場の送水量の削減などが考えられる。

以上のように、生物障害の発生に伴って浄水場全体での間接的な電力消費量が減少したケースが認められたが、浄水場ごと、障害発生の事象ごとではなく、地域ごとの集計および日本全国の集計においては、生物障害の発生に伴う間接的な電力消費量はすべて増加していた。なお、今回の調査において、同一浄水場の同一期間において複数種類の生物障害の発生は報告されていなかった。

間接的な電力消費変化量の推算結果を地域ごとに取りまとめ、図2に示す。図2に示した値は、割り戻し計算を行った後の値である。図2に示し

たように、間接的な電力消費量の変化量は地域によって異なり、183～5,634 MWh/yearと31倍異なった。最も増加量が大きかったのは関東地域であるが、これは、関東地域の人口が多いために送水量が他の地域と比較して多いことが原因の一つと考えられる。また、生物障害の年間発生日数の違いや臭気物質の濃度の違いなど、障害の重篤度の違いも原因と考えられる。

間接的な電力消費量は、生物障害の発生により全国で8,023 MWh/year増加していた。この値は、水道施設の電力使用量の年間値¹²⁾の0.11%であった。浄水場の立地条件によっては、浄水場で使用する電力量の多くが送水ポンプで消費されていると考えられる。このため、0.11%と小さい値になったと考えられる。しかし、温室効果ガスの削減目標と比較すると、一定程度の影響があると評価することが可能である。

2 - 3) 二酸化炭素排出変化量の推算

アンケート調査で生物障害の発生が報告された浄水場を対象として、間接的な二酸化炭素排出量の変化量を推算した。推算は、障害の発生に伴う浄水薬品使用量の変化量に基づいて行ったため、推算結果は、間接的な電力消費変化量の推算結果とほぼ同様の結果となった。すなわち、多くの浄水場・多くの障害発生ケースでは、生物障害の発生に伴って浄水薬品の注入率が上昇し、間接的な二酸化炭素排出量が増加していた。一部の浄水場・一部の障害発生ケースにおいて、生物障害の発生に伴って間接的な二酸化炭素排出量が低下したのも同様であるが、間接的な電力消費変化量の推算結果と異なるのは、浄水場全体としての

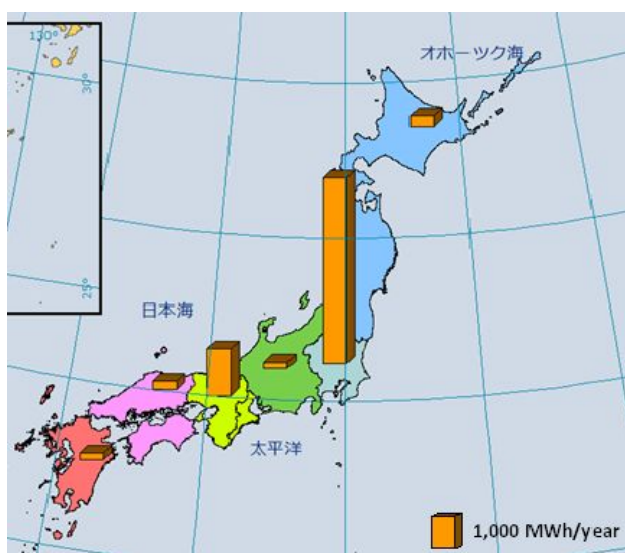


図2 生物障害の発生による間接的な電力消費変化量の推算結果

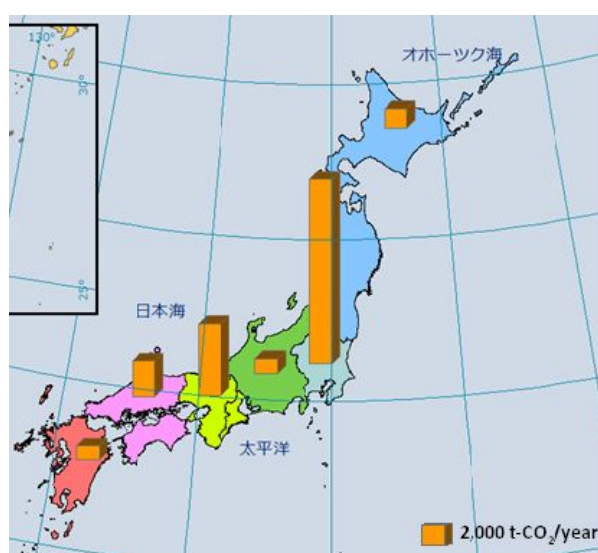


図3 生物障害の発生による間接的な二酸化炭素排出変化量の推算結果（浄水薬品の輸送分を除く）

間接的な二酸化炭素排出量が減少したケースが、障害の発生件数基準で7件であったこと、およびその内訳が異臭味障害で2件、ろ過漏出障害で4件、凝集沈殿障害で1件であったことである。このような差が生じたのは、間接的な二酸化炭素排出量の算出は、間接的な電力消費変化量に発電する際の二酸化炭素排出量の原単位を乗じて求めるのではなく、式(2)に示したように、それぞれの浄水薬品の製造に伴い発生する二酸化炭素

34,026 t-CO₂/year 増加することが明らかとなった。この値は浄水処理による二酸化炭素排出量の年間値^{13,14)}の0.79%である。以上の推算結果は、浄水薬品の製造による二酸化炭素排出量であり、浄水薬品の輸送による排出量を含んでいない。

2 - 4) 影響の大きい障害の種類とその対策

障害時に間接的な電力消費量や間接的な二酸化炭素排出量を大きく増加させる障害と増加量が小さい障害があると予想された。このため、障

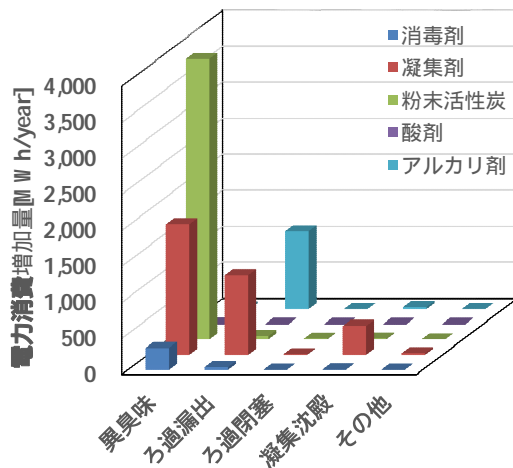


図4 間接的な電力消費変化量大きい障害・薬品の種類

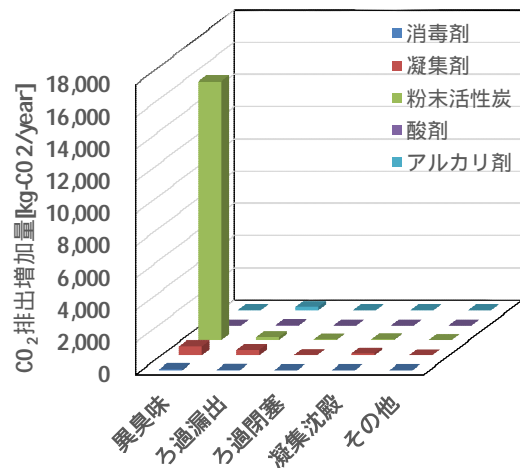


図5 間接的な二酸化炭素排出変化量大きい障害・薬品の種類

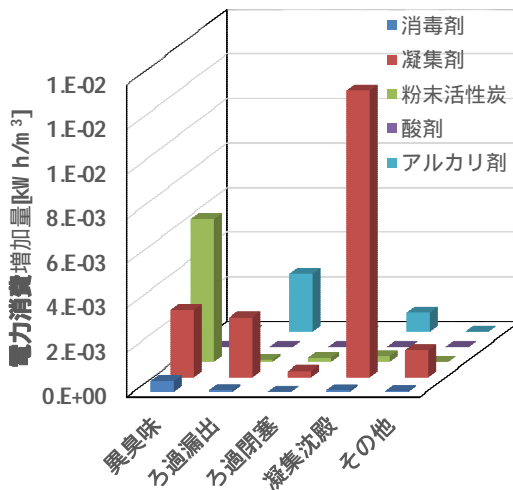


図6 単位送水量あたりの間接的な電力消費変化量大きい障害・薬品の種類

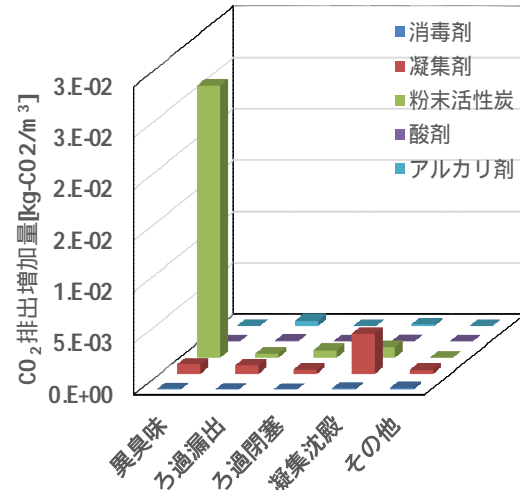


図7 単位送水量あたりの間接的な二酸化炭素排出変化量大きい障害・薬品の種類

量の原単位から求めているためである。

間接的な二酸化炭素排出量の推算結果を地域ごとに取りまとめ、図3に示す。図3に示した値は、割り戻し計算を行った後の値である。図3に示したように、間接的な二酸化炭素排出量の変化量は地域によって異なり、1,369 ~ 18,545 t-CO₂/year と14倍異なった。また、全国では

害の種類を異臭味障害、ろ過漏出障害、ろ過閉塞障害、凝集沈殿障害、およびその他の障害に分類し、障害の種類毎・必要となる浄水薬品の種類毎に間接的な電力消費量や間接的な二酸化炭素排出量を推算した。

その結果、図4および5に示すように、間接的な電力消費量、間接的な二酸化炭素排出量ともに

異臭味障害対策による粉末活性炭使用量増加の影響がもっとも大きかった。とくに、間接的な二酸化炭素排出量は、他の種類の障害、他の種類の薬品と比較して顕著であった。これは、すべての障害の中で異臭味障害の発生件数が239件と全体の72%を占めていたことや、粉末活性炭の製造にかかる電力消費原単位、とくに二酸化炭素発生原単位が他の浄水薬品と比較して比較的大きいことが原因と考えられる。また、障害の種類によらず、凝集剤の使用量増加に起因する間接的な電力

3) 浄水薬品の輸送に伴う二酸化炭素排出量

3-1) 輸送距離の予備解析

構築した方法で浄水薬品の輸送に伴う二酸化炭素排出量の推算が可能なことを確認するため、各地域から無作為に6事業体の13浄水場を選択し、浄水薬品の輸送距離を予備解析した。その結果、浄水場と薬品工場等の組み合わせによっては、浄水薬品の輸送経路の解析ができない事例が生じた。

解析が不可能だったのは、1) 浄水薬品の輸送

表3 輸送による二酸化炭素排出量の予備解析結果

地域	浄水場	二酸化炭素排出増加量 [t-CO ₂ /year]	原単位 [t-CO ₂ /m ³ /日]
北海道・東北	浄水場1	3.62	5.90E-05
関東	浄水場2	32.6*	3.87E-05
関東	浄水場3	56.8*	2.45E-04
関東	浄水場4	5.22*	1.56E-05
関東	浄水場5	20.5*	1.74E-05
関東	浄水場6	9.14*	7.53E-06
関東	浄水場7	1.00*	1.08E-06
関東	浄水場8	0.49*	1.72E-06
中部	浄水場9	0.21**	2.11E-06
関西	浄水場10	4.38	7.03E-05
関西	浄水場11	4.30	4.63E-05
中国・四国	浄水場12	1.90**	8.21E-05
九州・沖縄	浄水場13	5.70**	2.69E-05

*薬品工場等の所在地が海外の場合は解析しなかった

**道路データの分断があったため解析しなかった

消費量の増加量が比較的大きかった。

すなわち、間接的な電力消費増加量への影響が大きいの、障害の種類別では異臭味障害、浄水薬品の種類別では粉末活性炭および凝集剤であった。また、間接的な二酸化炭素排出増加量への影響が大きいの、異臭味障害発生時の粉末活性炭であった。

障害の種類ごと、また必要となる浄水薬品の種類ごとの影響を明らかにすることができたので、次に、単位送水量あたりの影響を検討した。その結果、間接的な電力消費量の増加量は、図6に示すように、凝集沈殿障害発生時の凝集剤が最も大きく、次いで異臭味障害発生時の粉末活性炭が大きかった。間接的な二酸化炭素排出量については、図7に示すように、異臭味障害発生時の粉末活性炭使用量増加の影響が顕著であった。これは、図5に示した年間の二酸化炭素排出増加量と同じ傾向であった。

以上のことから、異臭味障害は発生頻度および発生時の影響の大きさが大きく、優先的な対策が望まれることが分かった。

に海上輸送を含む場合、2) 薬品工場等の所在地を特定できなかった場合、3) 薬品工場等から浄水場までの道路データが分断されており、経路の探索が行えなかった場合、4) 薬品工場等の所在地が国外であった場合であった。これらのうち、1) 浄水薬品の輸送に海上輸送を含む場合については、海上輸送にかかる原単位が小さいこと、および輸送距離が短いことから、本年度は海上輸送の影響を無視した。2) 薬品工場等の所在地を特定できなかった場合は、解析ができなかった。3) 薬品工場等から浄水場までの道路データが分断されており、経路の探索が行えなかった場合は、技術的にはデータの修正が可能であったが、修正しなければならないデータ量および範囲が膨大であったため、すべての道路データを修正するのは困難であった。このため、本研究では解析しなかった。4) 薬品工場等の所在地が国外であった場合については、本年度は解析対象外とした。今後、海上輸送と国内輸送の両方について解析を行い、海上輸送がどの程度寄与するのかを検討する必要がある。

3 - 2) 二酸化炭素排出変化量の予備解析

予備解析した浄水薬品の輸送距離に基づき、改良トンキロ法による二酸化炭素排出量を推算した。その結果、表3に示すように、輸送距離を算出したすべての項目について推算が可能であった。

E. 結論

薬品工場等名、取扱薬品、郵便番号、所在地、電話番号について、151件の情報を集約することができた。一方、東日本大震災の被災地域(復興特別区域)に立地する15箇所の事業体中10箇所から、東日本大震災が発生した際に薬品確保に支障が生じたと報告された。また、復興特別区域以外の地域に立地する64箇所の事業体でも、10箇所から支障があったと報告され、浄水薬品の確保が広範囲で問題となったことが明らかになった。また、災害時の薬品確保マニュアルが整備されていると回答した事業体は、調査した79件中4件であった。このことから、マニュアル整備を推進する必要性が示された。

生物障害が発生した際の薬品注入率の変化に伴う電力消費変化量および二酸化炭素排出量の変化を推算した結果、電力消費量は8,023 MWh/year、二酸化炭素排出量は34,026 t-CO₂/year増加したと推算された。これらの増加量を浄水処理に伴う電力消費量および二酸化炭素排出量と比較すると、それぞれ0.11%、0.79%であった。ただし、二酸化炭素排出量は、浄水薬品の製造量の増加に伴う排出量増加量であり、輸送量の増加に伴う二酸化炭素排出量の増加量を含んでいない。調査した障害の中で、異臭味障害は発生頻度および発生時の影響の大きさが大きく、優先的な対策が望まれることが分かった。

浄水薬品の輸送による二酸化炭素排出量の推算方法を確立し、6カ所の地域からそれぞれ1カ所の水道事業体を無作為に抽出し、その13浄水場を対処として予備的な解析を行った結果、薬品工場等の所在地情報が不明な場合などの一部の事例を除いたすべての事例について二酸化炭素排出量を推算できた。

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

- 1) 宮内悠馬, 高梨啓和, 中島常憲, 大木 章, 下ヶ橋雅樹, 岸田直裕, 秋葉道宏. 生物障害の発

生に伴う浄水処理プロセスのエネルギー消費量の変化の解析. 環境科学会 2013 年会; 2013 年 9 月; 静岡

- 2) 高梨啓和, 宮内悠馬, 中島常憲, 大木 章, 下ヶ橋雅樹, 岸田直裕, 秋葉道宏. 生物障害の発生に起因する浄水処理プロセスのエネルギー消費量の変化の解析. 平成 25 年度日本水環境学会九州支部研究発表会; 2014 年 3 月; 鹿児島

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) NTT タウンページ株式会社, i タウンページ, <http://itp.ne.jp/?rf=1>, (2014 年 2 月 時点)
- 2) Google Inc., Google Map, <https://maps.google.com/>, (2013 年 2 月 時点)
- 3) 東京大学空間情報科学研究センター CSV アドレスマッチングサービス (<http://newspat.csis.u-tokyo.ac.jp/geocode/>) (2014 年 3 月 時点)
- 4) 経済産業省・国土交通省 (平成 19 年 3 月) 物流分野の二酸化炭素排出量に関する算定方法ガイドライン、II-34
- 5) 社団法人 産業環境管理協会 (2002), 製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発, <http://sakura.js.yamanashi.ac.jp/~yosihiko/2002.pdf>, (2014 年 1 月 時点)
- 6) 日本ソーダ工業 (2010), 電解ソーダ工業の電力消費量、買電・自家発電比率、電力原単位の推移, http://www.jsia.gr.jp/data/guide2010_10.pdf (2014 年 2 月 時点)
- 7) 日本ソーダ工業会 (1994), ソーダ工業と電力の話, 19
- 8) 株式会社 ツルミコール (2011), エコアクション 21 環境活動レポート, <http://www.ea21.jp/list/pdfn/0008500.pdf>, (2014 年 2 月 時点)
- 9) 岩本徹, 丸山恒夫, 田中博幸, 加藤政志 (1996), プレコンバータ設置とその操業について, 資源と素材, 112, 383-386
- 10) エア・ウォーターグループ (2012), 環境基本方針, http://www.awi.co.jp/environment/pdf/2012/awi2012_P16-23.pdf, (2014 年 2 月 時点)
- 11) 石灰石鉱業協会 (2012), 石灰石鉱業における地球温暖化への取組, <http://www.meti.go.jp/>

committee/summary/0004606/pdf/2012_09_01.pdf (2014年2月時点)

- 12) 平成 22 年度水道統計における「電力使用量（都道府県別）」の合計値
- 13) 水道統計要覧（平成 22 年度）における「規模別の二酸化炭素排出総量」の合計値
- 14) 水道統計要覧（平成 22 年度）における「都道府県別の電力二酸化炭素排出量」の合計値

