

資料

廃棄物最終処分場浸出水中のホウ素濃度について

貴田晶子, 野馬幸生, 山根早百合

Boron in Leachates from Waste Landfill Sites

AKIKO KIDA, YUKIO NOMA and SAYURI YAMANE

79カ所の廃棄物最終処分場からの浸出水中のホウ素濃度を分析した。一般廃棄物処分場浸出水のホウ素濃度は数mg/l程度であり、ばらつきが小さかった。安定型及び管理型産業廃棄物処分場浸出水では最高がそれぞれ15mg/l、及び26mg/lであり、ばらつきが非常に大きかった。浸出水中のホウ素はpHとは関係がなく、電気伝導率で示される塩類濃度と相関があった。初期に溶出しやすい元素の一つであるといえる。2カ所の一般廃棄物処分場において採取した焼却灰区画と不燃物区画の浸出水中では、不燃物区画の方がホウ素濃度が高かった。またホウ素は浸出水処理施設では除去されなかった。

キーワード：廃棄物、最終処分場、浸出水、ホウ素、塩類

緒 言

ホウ素は平成4年に水道水基準及び水質汚濁に係る環境基準の要監視項目に指定された。指針値は0.2mg/lであったが、その後WHOの毒性評価の変更に伴い1.0mg/lに変更された。ホウ素の人体への毒性は水銀やカドミウムといった有害性金属に比べ、小さいものではあるが、1940～1950年代には防腐用として食品中に多く用いられ胃腸障害等の中毒事例も起こっており、無視できない物質である[1]。

環境中の平均的ホウ素濃度は、河川水で0.01mg/l以下、海水で4～5mg/lであるため、環境基準は海域には適用されない。廃棄物最終処分場からの浸出水が海域に排出される場合は問題ないが、陸水中に排出され、特に農業利用される場合は問題となる。ホウ素は植物には必須元素であり、ホウ素を含む肥料も市販されている。しかし必須量としての許容範囲が極めて狭く、過剰障害を起こすことも知られている[2, 3]。金属が植物に与える毒性影響の強さは概して次のようにあると報告されており、ホウ素はヒ素に次いで影響が大きい[3]。

As > B > Cu > Ni > Co > Cr > Zn > Pb > Mn

広島県においては昭和59年に石炭灰の最終処分場からの浸出水中のホウ素によるイネの被害があり、また最近、岡山県においても同様の被害が報告されている[4, 5]。このため排水や浸出水中のホウ素を除去する方法として蒸発処理、溶媒抽出法、イオン交換法、凝集沈殿法等が検討されており[5-8]、廃棄物処分場に適用された例もある。

廃棄物処分場からの浸出水中の化学成分についての

報告では、主成分元素以外の微量元素の中ではホウ素濃度が高いことが報告されている[9]。多くの処分場でホウ素が検出されることからこの由来を調べるために焼却灰や廃プラスチックを用いたカラム試験を行っているが、特定の廃棄物に由来するのかどうかは明らかでない[10]。

ホウ素は鉱物としてではなく、ホウ酸とホウ砂の形で輸入され、表1に示すような化学薬品として使用されている[11]。最大の用途はガラス原料であるが、金属ホウ素が合金や中性子吸収剤として、また家庭用で洗浄剤の充填物としても使用されている。従って廃棄物最終処分場に搬入される種々の廃棄物には、産業系、一般系を問わずホウ素が含まれることが予想される。このたび、79カ所の最終処分場からの浸出水中のホウ素濃度を分析し、処分場の種類によってデータを分類し評価したので報告する。

実 験

1. 最終処分場と浸出水試料

対象処分場は一般廃棄物処分場16カ所、安定型産業廃棄物処分場28カ所、管理型産業廃棄物処分場35カ所の計79処分場であり、その内訳を表2に示す。一般廃棄物処分場の浸出水は原水及び処理水を採取した。産業廃棄物処分場では基本的に埋立中の場合は放流水を、埋立終了の場合は原水を採取したが、安定型処分場では水処理施設がないため、放流水は原水とみなせる。また管理型処分場では一部について原水と放流水を採取した。なお海面埋立処分場は、浸出水の水質が海水

表1 ホウ素化合物の用途

種類	化学式	ホウ素化合物	用途
金属	B	ホウ素	金属精錬時の脱酸剤, 高融点金属ホウ化物, Si半導体のドーピング剤, ^{10}B は中性子吸収剤
合金	Cr ₂ B	ホウ化クロム	溶射材
	TiB ₂	ホウ化チタン	硬質材, 蒸着ポート材
	MoB	ホウ化モリブデン	硬質材料
	LaB ₆	ホウ化ランタン	熱電子放射材
	BN	窒化ホウ素	電気絶縁物, 耐火材料, 潤滑部材
	ZrB ₂	ホウ化ジルコニウム	耐熱材料, 硬質材料
	BW	ホウ化タンゲステン	ファインセラミックス原料
	BNb ₂	ホウ化ニオブ	硬質材
無機化合物	B ₂ O ₃	酸化ホウ素 (無水ホウ酸)	吹管分析, 検出(SiO ₂)
	H ₃ BO ₃	ホウ酸	ガラス, ほうろう, ニッケルメッキ添加, コンデンサー, 防腐剤, 染料製造, 殺虫剤, 顔料, 融剤, 触媒, 人造宝石, 化粧品, 皮革工業, 陶器用釉薬, 高級セメント, ろうそくの芯, 防火原料, エナメル, ペイント, チック, 石鹼, 織維工業用
	Na ₂ BO ₇ · 10H ₂ O	ホウ砂	琺瑯鉄器, ガラス, 陶磁器, 金属ろう付け, 皮なめし, なっ染, 防腐剤, 医薬品, 化粧品, 熱処理剤, 写真, 顔料, なたねの増産用, 乾燥剤, 硬水軟化剤。不凍液原料
	NaBO ₃ · 4H ₂ O	過ホウ酸ソーダ	酸化漂白, 洗浄消毒, 染色助剤
	NaBH ₄	ナトリウムボロハイドライド	医薬中間体の合成, 有機薬品の生成, 貴金属類の回収, 重金属公害防止
	2ZnO · 3B ₂ O ₃ · 3.5H ₂ O	ホウ酸亜鉛	難燃剤, 難燃助剤, 耐熱塗料
	NH ₄ B ₅ O ₈ · 4H ₂ O	ホウ酸アンモニウム	コンデンサー, 化成原料, 金属表面処理剤, 難燃剤
	MnB ₄ O ₇ · 8H ₂ O	ホウ酸マンガン	ワニス, 油などの乾燥剤
	Pb(BO ₂) ₂	ホウ酸鉛(メタホウ酸鉛)	ワニス, ペイントなどの乾燥剤
	Pb(BF ₄) ₂ 等	ホウフッ化鉛 (スズ, 銅, 亜鉛) 水溶液	ハンダメッキ, 合金メッキの電解質
	NaBF ₄	ホウフッ化ソーダ	Alスクラップ中のMgの除去, Alの金属粒度改善, 金属表面処理
	KBF ₄	ホウフッ化カリウム	同上, ブレージングなどのフラックス配合原料, 銀ろう溶接フラックス, 軽金属精錬助剤, 陶磁器, 琥珀用, 砥石の添加剤
	NH ₄ BF ₄	ホウフッ化アンモニウム	精密鋳物の鋳型の酸化防止剤, メッキ浴添加剤, 軽金属鋳造の酸化防止剤, 織維の難燃剤
	BF ₃	三フッ化ホウ素(フッ化ホウ素)	触媒(スチレン, アルキルベンゼン, 合成樹脂, 合成繊維製造)
	9Al ₂ O ₃ · 2B ₂ O ₃	ホウ酸アルミニウムウイスカー	樹脂の強度等向上用の充填剤, アルミ合金への複合化, セラミックス充填剤
有機化合物	(C ₂ H ₅) ₃ B	トリエチルボラン	オレフィンの重合触媒
	(C ₄ H ₉) ₃ B	トリブチルボラン	重合用触媒
	(CH ₃ O) ₃ B	ホウ酸トリメチル	溶媒, 触媒, 中間体, シンチレーションカウンター, 防カビ剤, 脱水剤
	(CH ₃ CH ₂ O) ₃ B	ホウ酸トリエチル	防腐剤, 殺菌消毒剤, 防燃剤, アンチノック剤
その他		ボロン繊維	テニスラケット, ゴルフシャフト, スキー板, 宇宙・航空機材料

表2 対象とした最終処分場

埋立てた廃棄物の種類	埋立中	埋立終了	計
一般廃棄物	11	5	16
安定型産業廃棄物	13	15	28
管理型産業廃棄物	12	23	35
計	36	43	79

の影響を受け、廃棄物からの影響を表さないために対象から除いた。

2. 分析項目と分析方法

ホウ素以外に浸出水中のpH、電気伝導率(EC)及び主成分元素と規制項目である無機物質等を測定した。酸による加熱処理ではホウ素濃度が低下するため、浸出水の上澄み液を高周波誘導結合プラズマ発光分光分析装置(セイコー電子製SPS1200型)により測定した。

結果及び考察

廃棄物処分場のホウ素濃度を図1に示す。処分場は、一般廃棄物／安定型産業廃棄物／管理型産業廃棄物による分類と、埋立中／埋立終了による分類を行い、全体で6種類に分類した。ホウ素濃度の考察にあたっては、搬入される廃棄物の種類や各廃棄物のホウ素の溶出量を考慮する必要があるが、これは今後の課題として、今回は最終処分場全体の評価に限って議論する。今回分類した処分場に搬入される一般的な廃棄物は次のとおりである。一般廃棄物最終処分場では、不燃物と焼却灰が多く埋め立てられている。安定型最終処分場では安定型5品目の廃プラスチック、金属くず、ゴムくず、ガラス・陶

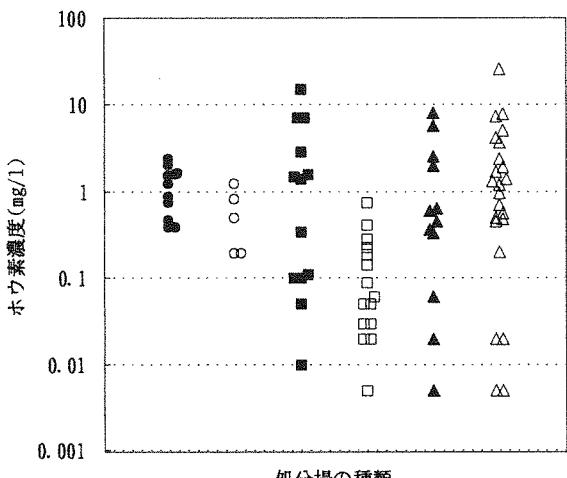


図1 処分場の種類とホウ素濃度

- 一般廃棄物／埋立中 ○ 一般廃棄物／埋立終了
- 安定型／埋立中 □ 安定型／埋立終了
- ▲ 管理型／埋立中 △ 管理型／埋立終了

磁器くず、及び建設廃材が埋め立てられている。管理型最終処分場ではこれら以外に、鉱滓、汚泥、燃え殻、ばいじん(以上の4種類は規制項目の溶出量が基準以下であったものに限られる)である。またこれ以外に残土も埋め立てられている。以下に廃棄物処分場の種類毎に考察する。

1. 一般廃棄物最終処分場浸出水のホウ素濃度

一般廃棄物処分場16カ所について浸出水中のホウ素濃度の範囲は、埋立中の処分場では0.37~2.3mg/lであり、埋立終了の処分場では0.19~1.2mg/lであった。埋立終了の処分場の方が全体として低濃度であった。産業廃棄物の最終処分場に比べてばらつきが少なかったが、これは搬入される廃棄物の種類が都市ごみの不燃物(廃プラスチックや陶磁器くずなど)と焼却残さ(焼却灰と集塵灰)とに限定され、比較的類似した廃棄物が埋め立てられているためと考えられる。焼却灰と不燃物(廃プラスチック、陶磁器くず、がれき等)とが区画を分けて埋め立てられている2カ所の処分場の浸出水中のホウ素濃度を表3に示す。両処分場とも焼却灰埋立だけからの浸出水は不燃物埋立よりも低濃度であった。焼却残さの溶出量については、焼却主灰が0.1~1.6mg/kg、集塵灰が3~14mg/kgの溶出性ホウ素濃度を持っていると報告されている[12]。しかし不燃物については、非常に多くの種類の廃棄物があり、各廃棄物の溶出量や混合物の溶出量についての報告はない。安原ら[10]は、焼却灰と廃プラスチックの混合カラム試験において、焼却灰単独の場合より、混合した方がホウ素の溶出量が増加したことを報告している。この理由は明らかにされていないが、混合埋立により、ホウ素の溶出を促進するような環境が起これうることを示している。今回の調査において、不燃物埋立からの方が焼却灰埋立よりもホウ素の溶出量が多かったという結果は、焼却灰だけでなく、不燃物中に含まれる廃棄物の溶出性ホウ素の起源があることを意味している。

表3 一般廃棄物最終処分場の焼却灰区画と不燃物区画の浸出水中のホウ素濃度

最終処分場の種類	ホウ素濃度mg/l
埋立中の処分場	焼却灰区画 0.37
	不燃物区画 1.57
埋立終了の処分場	焼却灰区画 0.81
	不燃物区画 1.19

2. 安定型最終処分場浸出水のホウ素濃度

安定型最終処分場28カ所について浸出水中のホウ素濃度の範囲は、埋立中の場合0.01~15mg/l、埋立終了の場合0.01以下~0.76mg/lであった。安定型処分場では一般廃棄

物処分場に比べ、全体的に濃度のばらつきが大きかった。特に埋立中の処分場ではばらつきが非常に大きく、搬入された廃棄物の種類を反映しているものと思われる。また埋立中より埋立終了の処分場の方が全体として低濃度であった。しかし埋立終了の処分場では濃度低下がみられる結果となるには、個々の処分場で搬入された廃棄物が異なるので問題がある。今回調査した埋立終了の処分場は建設廃材が主に搬入されていた。従って埋立中より埋立終了の処分場でホウ素濃度が低かったのは搬入廃棄物の種類による可能性もあり、濃度低下を見るには、同一処分場における経時的な調査をする必要がある。

3. 管理型最終処分場浸出水のホウ素濃度

管理型最終処分場35カ所について浸出水中のホウ素濃度の範囲は、埋立中の場合0.01以下～8.24mg/l、埋立終了の場合0.01以下～26mg/lであった。安定型処分場の場合と異なり、埋立中の処分場でも埋立終了の処分場でも浸出水中のホウ素濃度はばらつきが大きかった。先に述べたように産業廃棄物処分場では搬入される廃棄物の種類が多いため、どの種類の廃棄物がホウ素濃度で大きく寄与しているのかは特定できなかった。全体的にみて約半数の安定型処分場で0.1mg/l以下であるのに対し、ほとんどの管理型処分場で0.1mg/lを超えていたことから、管理型処分場に搬入される廃棄物の中に溶出性ホウ素を多く持つ廃棄物があるといえる。ホウ素濃度が高濃度であった処分場に共通しているのは、石炭灰を搬入しているか、中間処理として焼却場を併設し、その焼却灰を埋め立てていることであった。しかし、これによって石炭灰等が溶出性ホウ素の起源であることが直接的に示されているわけではない。ホウ素の起源については各種廃棄物の溶出量を比較して評価せねばならない。

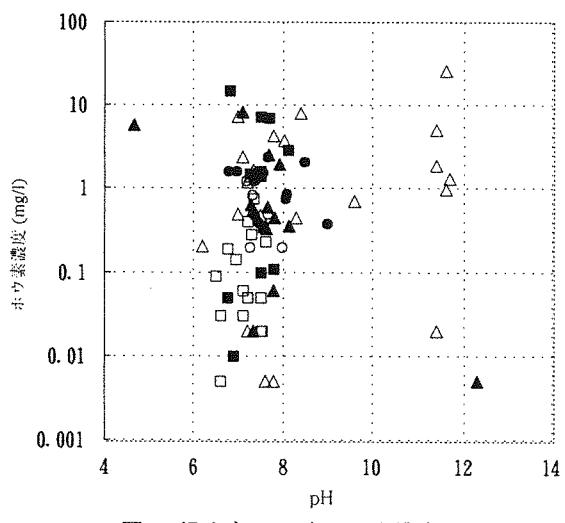
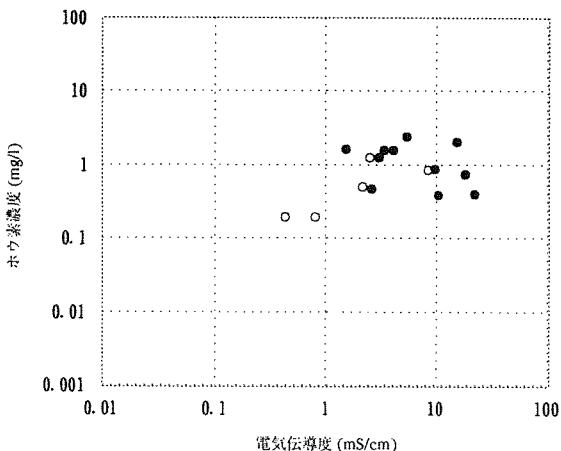
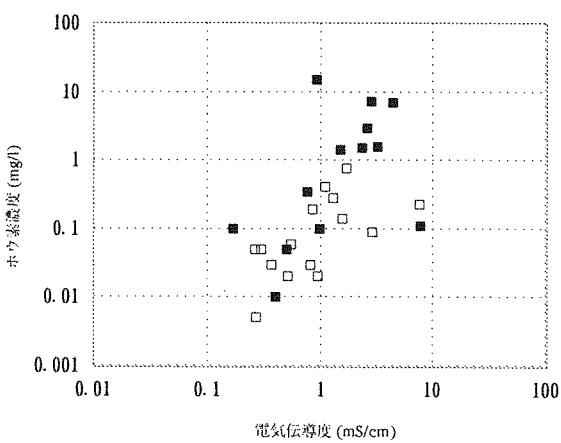


図2 浸出水のpHとホウ素濃度

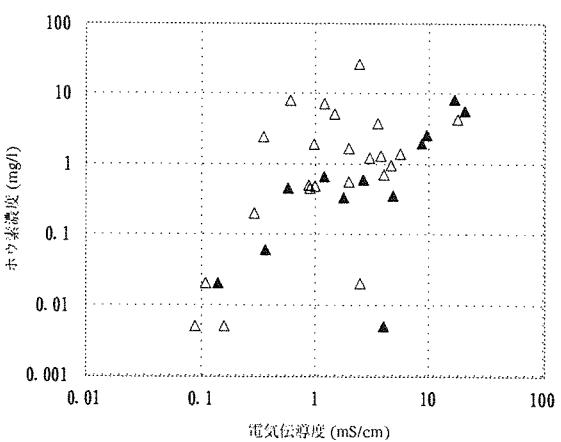
- 一般廃棄物／埋立中 ○ 一般廃棄物／埋立終了
- 安定型／埋立中 □ 安定型／埋立終了
- ▲ 管理型／埋立中 △ 管理型／埋立終了

図3-1 浸出水の電気伝導率とホウ素濃度
(一般廃棄物処分場)

- 一般廃棄物／埋立中 ○ 一般廃棄物／埋立終了

図3-2 浸出水の電気伝導率とホウ素濃度
(安定型産業廃棄物処分場)

- 安定型／埋立中 □ 安定型／埋立終了

図3-3 浸出水の電気伝導率とホウ素濃度
(管理型産業廃棄物処分場)

- ▲ 管理型／埋立中 △ 管理型／埋立終了

4. 浸出水のpHとホウ素濃度

浸出水のpHとホウ素濃度の関係を図2に示す。

この図から、ホウ素濃度はpHと相関関係はないと考えられる。一般廃棄物焼却灰を用いて行われたpH依存性の溶出量を報告した例によればホウ素の溶出はpHにあまり依存していない[12]。この事実と浸出水中のpHとホウ素濃度の関係は同じであった。

5. 浸出水の塩類濃度（電気伝導率）とホウ素濃度

浸出水中の電気伝導率とホウ素濃度の関係を、廃棄物処分場の種類ごとに図3に示す。

一般廃棄物処分場ではあまり相関関係があるようにはみえないが、安定型処分場及び管理型処分場では、いずれも塩濃度が高いとホウ素濃度が高いという正の相関関係がみられた。このことは、アルカリ金属等の塩類が埋立の初期から溶出しやすいと同様にホウ素も溶出しやすいということを示している。一般廃棄物焼却灰を用いたカラム試験の結果から、ホウ素の溶出は塩類より長期にわたることが報告されており[13]、同様の結果が得られるかどうかは浸出水の長期モニタリングにより確認せねばならない。

6. 浸出水処理施設におけるホウ素の挙動

6カ所の処分場(A, B, C, D, E, F)の同一日時に採取した水処理前後のホウ素濃度を表4に示す。これらの処分場では一般に生物処理や凝集沈殿処理を行っているが、このような処理によってホウ素は除去されなかった。ホウ素はホウ酸イオンとして安定に存在し通常の水処理では除去されないことから、現在検討されている蒸発処理、溶媒抽出、特殊なイオン交換樹脂等のホウ素処理に絞った水処理方法が必要である[5-8]。

表4 浸出水と処理水中のホウ素濃度

最終処分場	処分場の種類	浸出水の種類	ホウ素濃度 mg/l	pH	電気伝導率 mS/cm
A	一般廃棄物 (管理型)	原水	1.2	7.4	3.1
		処理水	1.3	7.0	3.6
B	一般廃棄物 (管理型)	原水	0.59	8.1	11
		処理水	0.57	6.8	11
C	一般廃棄物 (管理型)	原水	1.4	6.9	3.2
		処理水	1.3	7.3	3.4
D	産業廃棄物 管理型	原水	1.3	11.7	3.8
		処理水	0.92	7.3	5.1
E	産業廃棄物 管理型	原水	26	11.6	2.43
		処理水	24	7.7	2.72
F	産業廃棄物 管理型	原水	0.58	10.5	—
		処理水	0.59	7.5	—

結語

79カ所の廃棄物最終処分場からの浸出水中のホウ素濃度を分析し、次の結果を得た。一般廃棄物処分場浸出水のホウ素濃度はほぼ数mg/l程度であり、ばらつきが小さかった。安定型及び管理型産業廃棄物処分場浸出水では最高がそれぞれ15mg/l、及び26mg/lで、ばらつきが非常に大きかった。浸出水中のホウ素はpHとは相関関係がなく、電気伝導率で示される塩類濃度と相関があった。初期に溶出しやすい元素の一つであるといえる。一般廃棄物処分場において採取した焼却灰区画と不燃物区画の浸出水では、不燃物区画の方がホウ素濃度が高かった。またホウ素は浸出水処理施設において除去されていないことが分かった。本報で特定できなかったホウ素の由来については、搬入される廃棄物について調査が必要である。

参考文献

- [1]日本化学会：微量元素－栄養と毒性－、丸善、1978.
- [2]田崎忠良：環境植物学、朝倉書店、1980.
- [3]松中昭一：植物毒理学入門、東京大学出版会、1980.
- [4]朝日新聞、平成9年2月22日
- [5]朝田浩之、山田亮一、惠藤良弘：ホウ素含有排水処理技術、第32回水環境学会年会、(1998).
- [6]朝田浩之、山田亮一、惠藤良弘：溶媒抽出による排水からのホウ素の回収、化学工学会第63回年会、(1998)
- [7]森田啓次郎、斎藤直巳、近藤基一、保野顕憲：埋立処分場浸出水中の高濃度無機塩類の蒸発方式による回収処理、第9回廃棄物学会研究発表会講演論文集、811-820 (1998).
- [8]向井克之、杉原陽一郎、田井和夫、堀田義照、田原俊一、網本博孝：最終処分場浸出水のホウ素処理システムに関する研究、第9回廃棄物学会研究発表会講演論文集、821-823 (1998).
- [9]国立環境研究所特別研究報告SR-28-99：廃棄物埋立処分に起因する有害物質暴露量の評価手法に関する研究(平成6~9年度)、1999.
- [10]安原昭夫、山本貴士、西川雅高、福井博、安田憲二、立藤綾子、松藤康司：廃棄物埋立処分地における化学物質の挙動解明、第9回廃棄物学会研究発表会講演論文集、827-829 (1998).
- [11]13599の化学商品、化学工業日報社、(1999).
- [12]貴田晶子：廃棄物からのホウ素の溶出、第6回廃棄物学会研究発表会講演論文集、750-752 (1995).
- [13]貴田晶子、野馬幸生：焼却灰の溶出特性、都市清掃、第41卷、第164号、223-228 (1987).

