

# 産業廃棄物最終処分場（管理型）における 経過期間と浸出水水質の関係

田中宏和・田中博義\*<sup>1</sup>・橘治廣\*<sup>1</sup>

Relationship between Elapsed Time and Leachate Quality on Industrial Waste Landfill

Hirokazu TANAKA, Hiroyoshi TANAKA\*<sup>1</sup>, Haruhiro TACHIBANA\*<sup>1</sup>

北陸地方の管理型産業廃棄物最終処分場において、埋立時期の異なる区画の浸出水水質と埋立開始からの経過期間との関係性を評価した。Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、EC、Niは経過月数に対して指数関数的な低下傾向がみられ、洗い出しによる安定化挙動を示していたが、ECについては洗い出し効果に加えて有機物分解の影響を受けていることが示唆された。また、Niの溶出はCl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>に比べて遅いことが分かった。さらに、DOC、COD、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>は指数関数的な低下はみられなかったが、BOD/COD値とBOD/DOC値は指数関数的な低下傾向がみられ、有機物分解の安定化挙動を示した。これらの結果から、各埋立区画の浸出水水質は層内の安定化状況を反映し、指数関数による近似式は安定化の将来予測に有効であると考えられた。

## 1. はじめに

管理型最終処分場の安定化には埋立地の層内雰囲気、特に浸透水量が大きく影響し、降水量は埋立層内への浸透水量に関係する重要な因子である。北陸地方は年間降水量が多く、さらに夏期よりも冬期に降水量が多い特徴を有するため、このような気候特性が最終処分場の安定化に及ぼす影響を把握することは、地域に適した処分場設計・管理を行う上で、また人工散水などの早期安定化技術を研究開発する上で意義深い。そのため、筆者らは2005年から、複数に区分された福井県北部の管理型産業廃棄物最終処分場を調査している。

これまでの調査で、浸出水に含まれる主なイオン類は硫酸イオン(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)、塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)、炭酸水素イオン(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)、アンモニウムイオン(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)、ナトリウムイオン(Na<sup>+</sup>)、カリウムイオン(K<sup>+</sup>)、カルシウムイオン(Ca<sup>2+</sup>)、マグネシウムイオン(Mg<sup>2+</sup>)であり、埋立途中や埋立完了後の新しい区画ではCl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>などの易溶性のイオン割合が高い反面、古い区画では難溶性のCa<sup>2+</sup>の割合が高く、さらに生物分解由来(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)のイオン割合は新しい区画よりも古い区画の方が多いため、浸出水中のイオン挙動は塩類洗い出しや生物分解などの安定化状況を反映していることが示唆されている<sup>1)</sup>。

そこで今回は、各区画における埋立からの経過期間と浸出水水質との関係について評価を行い、得られた知見を報告する。

## 2. 調査方法

### 2.1 調査対象施設の概況

調査対象とした処分場は福井県北部に位置し、掘り込み式で、5区画に区分されている。各区画の容量と深さ、埋立時期を表1に、埋立物組成を図1に示す。全ての区画は深さ6mであり、第5区画は埋立途中である。最終覆土には砂質土が使用され、下部集水管に溜まった浸出水は水処理施設で処理後、下水道へ排除している。

### 2.2 採水方法および調査頻度

浸出水は水処理施設手前で各区画別に採取し、それぞれの区画番号を浸出水名とした。ただし、第3区画は集水管が2系列(No. 3-1、No. 3-2)に分割されているため、全5区画、計6検体を調査対象とした。調査は年4回実施し、

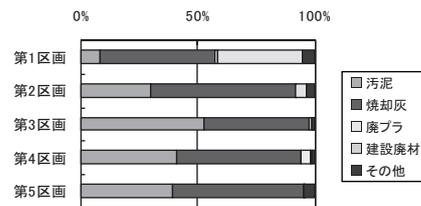


図1 埋立物の組成(重量換算)

表1 各区画の容量と埋め立て時期

(2007年4月現在)

区画	容積(m <sup>3</sup> )	深さ(m)	埋立開始	埋立終了	埋立期間	完了からの期間
1	13,274	6	1982年12月	1988年3月	5年4ヶ月	19年1ヶ月
2	13,274	6	1988年3月	1990年9月	2年7ヶ月	16年6ヶ月
3	31,951	6	1990年9月	1995年5月	4年8ヶ月	11年11ヶ月
4	31,951	6	1995年6月	2000年12月	5年6ヶ月	6年5ヶ月
5	52,650	6	2001年1月	—	—	—

\*1) 元福井県衛生環境研究センター

本報では2005年4月から2007年4月までの計9回の調査結果について評価した。

### 2. 3 分析項目および方法

分析項目はイオン類 ( $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ ) と酸消費量(pH4.8)、電気伝導率(EC)、溶解性有機炭素量(DOC)、化学的酸素消費量(COD)、生物化学的酸素消費量(BOD)、重金属(Mn、Ni)とした。

分析方法は原則として日本工業規格 JIS K0102 に準拠し、陰イオン分析はイオンクロマトグラフ法を、陽イオン分析は ICP 発光分析法を主に用いたが、例外として  $\text{NH}_4^+$  はイオン電極法を用い、 $\text{HCO}_3^-$  は酸消費量から算出した。

また、集水管内壁から剥離したゴミの影響を避けるため、COD と BOD の分析には孔径  $1\mu\text{m}$  のガラス繊維ろ紙でろ過した試料を用いた。さらに BOD の植種には Novozymes Biologicals 社製の BI-CHEM BOD Seed を用い、硝化抑制のため N-(2-プロペニル)チオ尿素を添加した。

## 3. 結果と考察

### 3. 1 洗い出し効果

$\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$ 、EC、Ni の経時変化を図 2~5 に示す。これら項目は、埋立開始からの経過月数に対して指数関数的な濃度低下がみられた。

$\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$  は易溶出性のイオンであり<sup>2,3)</sup>、柴田ら<sup>4)</sup>によれば、一般廃棄物最終処分場の浸出水中の  $\text{Cl}^-$  と  $\text{Na}^+$  は有機物分解や化学的变化に伴う埋立層内の環境変化の影響を受けにくく、福井ら<sup>5)</sup>の管理型最終処分場の報告においても  $\text{Cl}^-$  が指数関的に濃度減少するデータが提示されている。なお、易溶出性<sup>2,3)</sup>の  $\text{K}^+$  については  $\text{Cl}^-$  や  $\text{Na}^+$  と同様な傾向がみられたが、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  は経過月数に対する低下傾向はみられなかった。

EC については、管理型産業廃棄物処分場において埋立完了後の経過年数に伴い指数関的に減少すること<sup>6)</sup>や、埋立初期から安定化末期に至るまで  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$  との相関が強いこと<sup>3)</sup>が報告されている。本調査においても図 6 のとおり相関関係がみられたが、 $\text{Cl}^-$  との相関性は  $\text{Na}^+$  に比べてやや劣る。また、 $\text{K}^+$  は  $\text{Cl}^-$  よりも高い相関を示すが、濃度が低いため EC への寄与は少ないと考えられる。

図 7 に示すとおり、後述する生物分解由来のイオン類 ( $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ ) について、EC との相関関係が第 1~4 区画において確認された。これは、総イオン量に占めるこれらのイオン割合が第 5 区画では 6~7% と低いが、第 1~4 区画では 30~60% 程度と高いこと<sup>1)</sup>から、EC に及ぼす寄与が大きいものと考えられる。一方、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  は EC との相関はみられなかった。以上のことから、EC の指数関数的な挙動には物理化学的な溶出イオンだけでなく、有機物分解由来イオンの影響が表れていると考えられた。

重金属に関しては、管理型一般廃棄物最終処分場を対象とした調査結果から浸出水安定化の指標とすることは困難とした報告事例がある<sup>7)</sup>が、Ni については図 5 のとおり経過月数との相関がみられ、興味深い。この最終処分場では、工場廃水処理過程で発生した生物汚泥を焼却して埋め立てていることから、産業由来の Ni と推察される。一

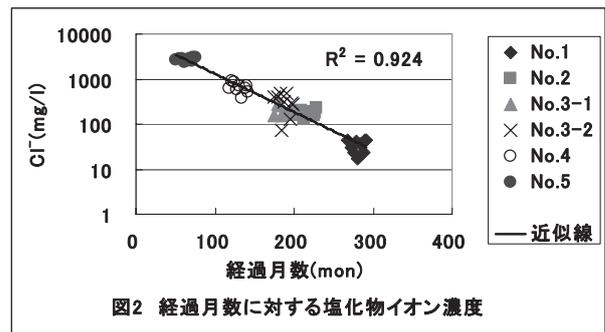


図2 経過月数に対する塩化物イオン濃度

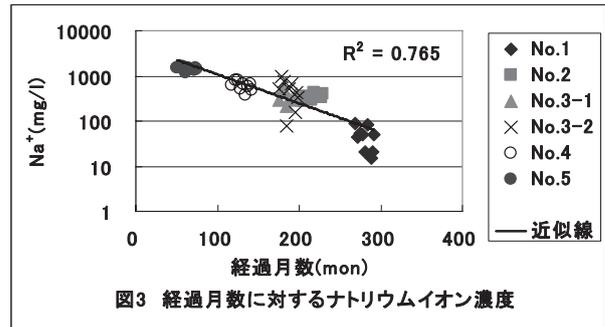


図3 経過月数に対するナトリウムイオン濃度

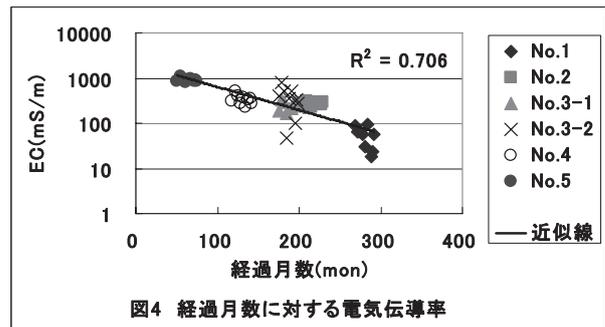


図4 経過月数に対する電気伝導率

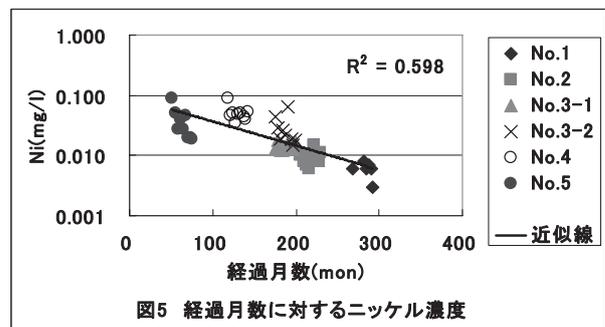


図5 経過月数に対するニッケル濃度

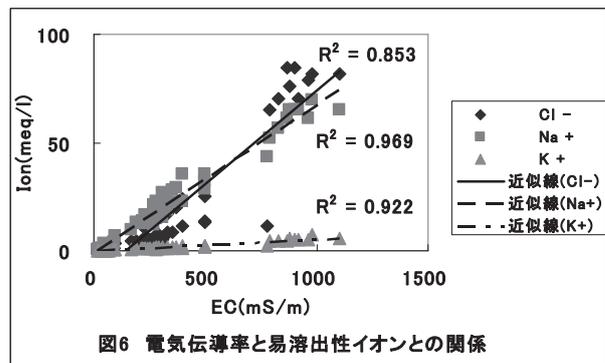
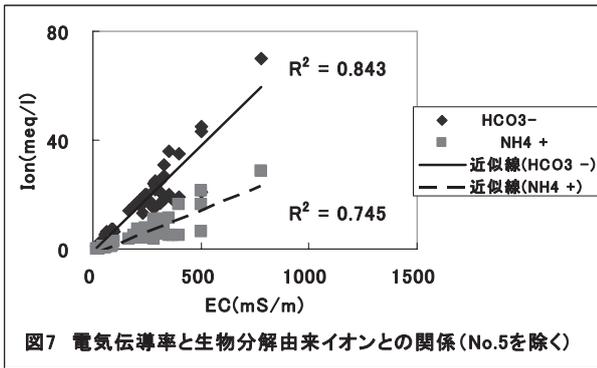


図6 電気伝導率と易溶出性イオンとの関係



方、MnについてはNiのような傾向はみられなかった。上述の指数関数的に低下傾向を示した水質項目について、以下の式で近似したときの係数 a、k と、係数 k から算出される各濃度の半減期を表 2 に示す。なお、後述する BOD についても指数関数的な低下傾向がみられたため、併せて表記した。

$$[\text{Conc}] = a \cdot e^{-kt}$$

[Conc] : 水質濃度 (mg/l)  
 t (mon) : 経過月数  
 a (mg/l), k (1/mon) : 係数

これらの近似式は相関性が強い将来予測に有効な指標であり、半減期を比較すると、Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>に比べ Ni は溶出しにくいことが分かる。

以上のとおり、これまで報告されている浸出水の経年変化と同様な指数関数的低下挙動が、埋立組成の異なる各区画の浸出水水質と経過月数間で確認されたことにより、これらの水質項目は層内の洗い出し効果による安定化状況を反映しており、さらに EC については有機物分解の影響も受けていることが示唆された。なお、焼却灰の埋立物組成比は各区画で 44~62% と差が少ないことも、上記の結果が得られた要因と考えられる。

### 3. 2 有機物分解

pH の結果を図 8 に示す。全ての区画で弱アルカリ性であり、pH による生物阻害の影響は考えにくい。

DOC、COD、BOD、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の経時変化を図 9~13 に示す。

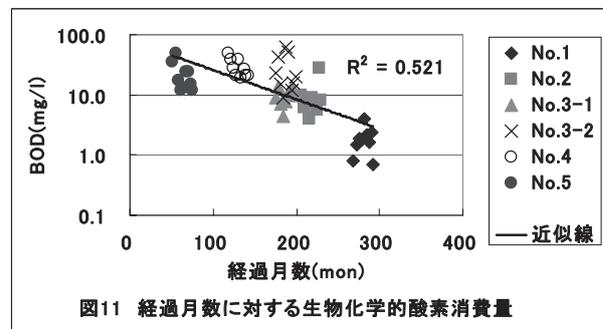
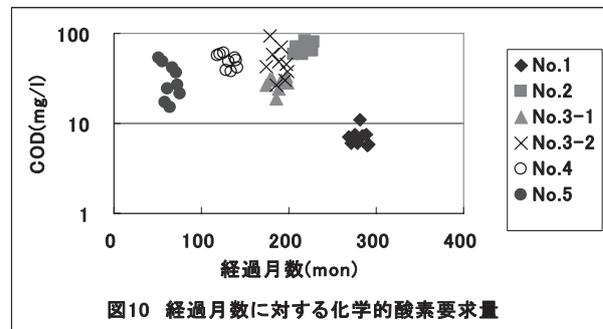
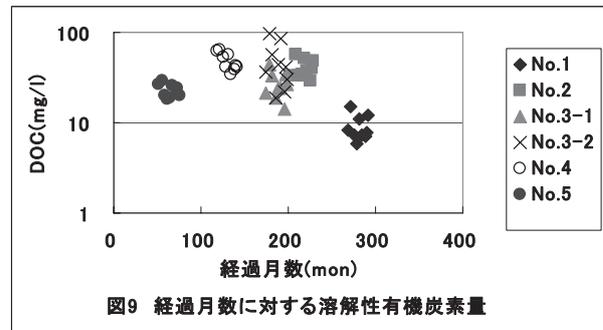
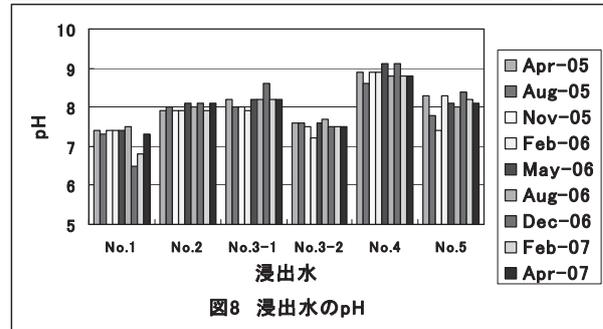
DOC と HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> は第 1 区画と第 5 区画で低く、第 2~4 区画で高い挙動を示した。COD について本田<sup>9)</sup>は EC と同様に指数関数的に減少すると報告しているが、図 9 ではそのような傾向はみられず、第 2~5 区画では逆に増加傾向がみられた。BOD は経過月数に対して指数関数的な低下傾向があり、COD の挙動と異なる。

降水中に含まれる NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の含有濃度については、0.07 から 2.90mg/l である<sup>9)</sup>ことや、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>についても極微量である<sup>9)</sup>ため、浸出水中のこれらのイオンは降水由来とは考えられない。DOC の挙動と類似していることから、主に有機物の生物分解に由来すると考えられるが、第 5 区画の NH<sub>4</sub><sup>+</sup>が高値を示しているのは、高濃度窒素含有工場廃水を処理した生物汚泥からの溶出が推察される。

このように BOD を除く有機物関連項目については、指数

表2 近似式の係数と各濃度の半減期

	a	k	半減期(mon)
Cl <sup>-</sup>	9182.3	0.0195	35.5
Na <sup>+</sup>	4742.6	0.0148	46.8
K <sup>+</sup>	481.13	0.0132	52.5
EC	2086	0.0118	58.7
Ni	0.0938	0.0093	74.5
BOD	79.429	0.0112	61.9



関数的な低下傾向はみられなかった。この理由として、埋立途中である第 5 区画の生物活性が第 1~4 区画に比べて著しく劣っていること<sup>1)</sup>や、各区画における汚泥の埋立物組成比が 8~53% であり、差が大きいことが考えられる。

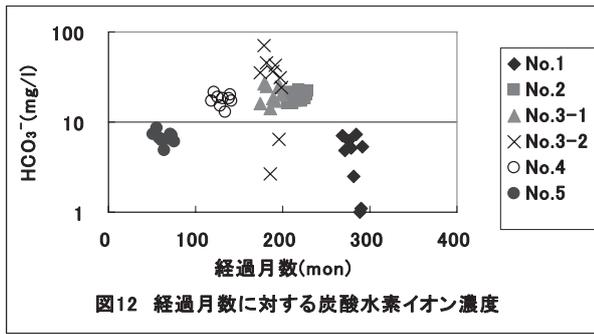


図12 経過月数に対する炭酸水素イオン濃度

BOD について指数関数的な低下傾向が見られたことは興味深いが、易溶出性イオン類に比べると相関性は低く、物理的な溶出だけでなく、生物分解による可溶化の影響が表れているものと考えられる。

次に、浸出水中の有機物の易分解性から難分解性への変化を表す代表的な指標である BOD/COD 値<sup>5)</sup>と、BOD/DOC 値を図 14, 15 に示した。

これらの値に関しては指数関数的な低下傾向を示し、相関係数も比較的高かった。一方、COD/DOC 値については有意な相関関係はみられなかったことから、有機物分解による安定化指標には、生物分解性有機物を示す BOD と総合的な有機物指標である COD または DOC との比が有効であると考えられる。

#### 4. まとめ

- ・ 浸出水中の  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ni}$  は、埋立開始からの経過月数に対して指数関数的に低下し、洗い出しによる安定化挙動を示すと考えられ、 $\text{Ni}$  の溶出は  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  に比べて遅いことが分かった。
- ・ EC は指数関数的な低下挙動を示したが、洗い出し効果だけでなく、有機物分解の影響も受けていることが示唆された。
- ・ DOC、COD、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$  は指数関数的な低下はみられなかったが、BOD/COD 値、BOD/DOC 値では指数関数的な低下傾向がみられ、有機物分解の安定化挙動を示すものと考えられた。
- ・ 以上で求められた指数関数による近似式は安定化の将来予測に有効であると考えられた。

#### 謝辞

本研究にあたり、ご指導いただいた国立環境研究所の山田正人主任研究員と遠藤和人主任研究員、そして、調査にご協力いただいた関係者の方々に深謝します。

#### 参考文献

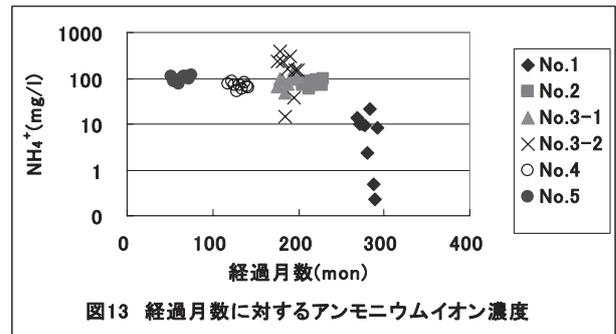


図13 経過月数に対するアンモニウムイオン濃度

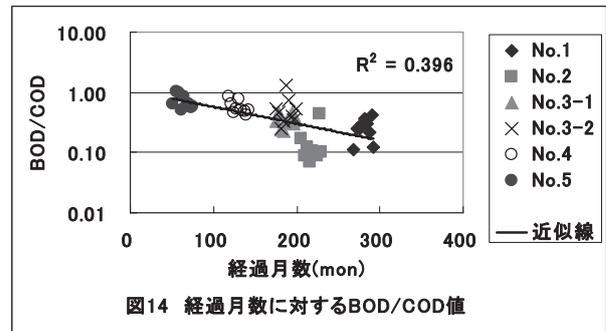


図14 経過月数に対するBOD/COD値

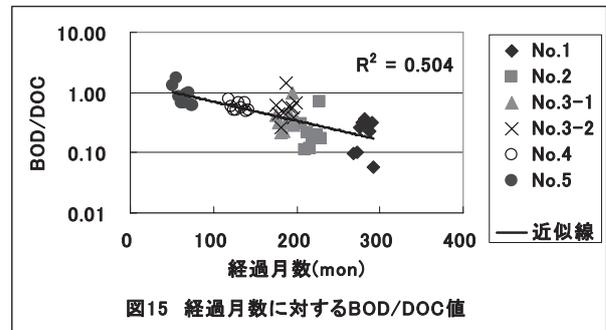


図15 経過月数に対するBOD/DOC値

- 1) 田中宏和他：北陸地方の気候が管理型産業廃棄物最終処分場の安定化に及ぼす影響，第 17 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，1048～1050 (2006)
- 2) 香村一夫他：一般廃棄物最終処分場における浸出水中のイオン濃度と廃棄物層の比抵抗について，廃棄物学会論文誌，14，123～132 (2003)
- 3) 長森正尚他：浸出水の水質経年変化，埼玉県公害センター研究報告，21，49～65 (1994)
- 4) 柴田公子他：一般廃棄物最終処分場における浸出水の水質の推移について，山口県衛生公害研究センター業績報告，18，56～59 (1997)
- 5) 福井博他：最終処分場浸出液の水質の経年変化，全国環境研究会誌，29，162～166 (2004)
- 6) 本田富義：最終処分場跡地の浸出液及び湧出ガスの経年変化について，愛知県環境調査センター所報，24，93～96 (1996)
- 7) 化学部：最終処分場浸出水の水質経年変化について，栃木県保健環境センター年報，3，110～112 (1998)
- 8) 北村守次他：石川県における酸性雨調査（第 2 報）— 1 週間降水成分の統計解析—，石川県衛生公害研究所年報，22，98～113 (1985)
- 9) 山口幸祐他：島根県における降水成分調査，島根県衛生公害研究所報，29，54～58 (1987)