

## 6 研究活動報告

環境科学国際センターでは様々な調査研究活動を実施している。それらの成果については積極的に発表し、行政、県民、学会等での活用に供している。学術的な価値のあるものについては論文にまとめて学術誌へ投稿することにより発表しているが、それ以外にも比較的まとまった成果は多い。ここではこれらの調査研究成果のうち、論文や種々の報告書に掲載されていないものを紹介する。今号では、当センターの自主的な研究課題として設定し、研究活動を実施しているもののうち、平成29年度までに終期を迎えた課題のほか、平成30年度に取りまとめた成果や情報について報告する。

### 6.1 研究報告

埋立廃棄物の組成変化を考慮した最終処分場内部の安定化挙動に関する研究 …………… 磯部友護、川寄幹生、長谷隆仁、鈴木和将

### 6.2 資料

埼玉県における絶滅危惧植物の分布と減少要因の解析 …………… 三輪誠、嶋田知英

太陽光発電パネル設置による蒸発量への影響についての研究 —発電パネルを模擬した太陽光遮蔽設備による実験— …………… 長谷隆仁

[研究報告]

# 埋立廃棄物の組成変化を考慮した最終処分場内部の安定化挙動に関する研究

磯部友護 川寄幹生 長谷隆仁 鈴木和将

## 要旨

循環型社会の推進に伴い、今後、埋立廃棄物の質と量に変化していくと予想される。そこで、最終処分場における安定化挙動を把握するために組成の異なる廃棄物からのイオン類溶出挙動などを調べるカラム試験や、複数の最終処分場において内部温度や発生ガスなどのモニタリングを行った。その結果、カラム試験では焼却残さ割合とイオン溶出量に正の相関が見られた。一方、モニタリングでは焼却残さと不燃残さの混合割合の違いによりメタンガスや水素ガスの発生濃度が変化し、安定化挙動に影響を与えることが示された。また、内部温度やメタンガスの濃度変化から、埋立終了1～2年後には安定化プロセスにおけるメタン生成定常期に移行していることが明らかになった。さらに、最終処分場の冠水が安定化挙動に与える影響や、飛灰固化物の埋立による安定化遅延に関する知見が得られた。

キーワード: 最終処分場、安定化、モニタリング

## 1 背景と目的

我が国では循環型社会の形成・推進に伴い、廃棄物の排出量が漸減していることから最終処分場(以下、処分場)への埋立量が減少し、処分場の残余年数は延び、延命化が進む好循環を維持しているといえる。

他方、埼玉県においては、焼却残さのセメント原料へのリサイクルが進んでおり、県内の管理型処分場では埋立量の減少だけでなく、焼却残さよりも不燃残さが多くなっているという、一般的な管理型処分場とは埋立廃棄物の質が異なる逆転現象が発生している(図1)。今後、焼却残さのリサイクルがさらに広がることにより、このような現象は我が国の処分場でも増えてくるものと考えられ、埼玉県の処分場は将来の我が国の処分場の姿を先行していると推察される。

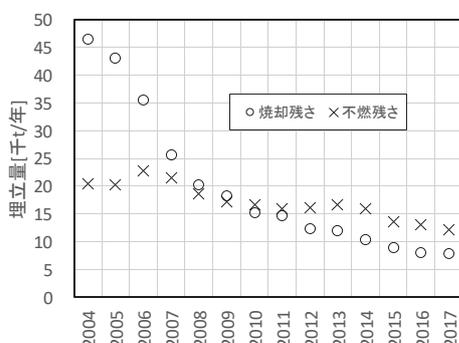


図1 県内の管理型処分場における埋立廃棄物量の推移

しかしながら、処分場の延命化や埋立廃棄物の質的变化は、処分場閉鎖までの期間が延びることを意味しており、埋立作業や浸出水処理といった維持管理業務の長期化や、管理費用の増大といった問題の内包化に加え、浸出水処理や処分場内部の安定化状況に影響を及ぼすことが予想される。

長期間にわたり維持しなければならない処分場を適切に管理していくためには、埋立廃棄物の質的・量的な変化を見据え、処分場内部の廃棄物がどのように、どの程度の期間で安定化していくかを把握することが非常に重要な課題となる。そこで本研究では、現在から将来に渡る埋立廃棄物における処分場内での安定化を評価することを目的として、上述したような我が国の将来の処分場像を反映していると考えられる処分場を調査対象とし安定化の指標となる温度や発生ガス等のモニタリングを実施した。

## 2 方法

### 2.1 調査対象

本研究では埼玉県内で運用中の3つの処分場(A～C)を対象とした。管理型処分場であるA処分場は一般廃棄物の焼却残さと不燃残さ、産業廃棄物の燃えがらと廃プラが主な埋立物であり、焼却残さよりも不燃残さの埋立量の割合が高くなっていることから、上述した将来の処分場像を反映した処分場として選定した。B、C処分場は一般廃棄物処分場であり、B処分場は焼却残さ(底灰)のみの一般的な処分場として、また、C

処分場では飛灰固化物と熔融スラグのみを埋め立てており、焼却残さのリサイクル推進によりこのような処分場が今後増えることを想定して、それぞれ調査対象とした。

## 2.2 カラム試験による溶出挙動

A～C処分場の埋立物の溶出挙動を把握するため、カラム試験を行った。それぞれの処分場において、搬入されてきた廃棄物を採取した。実験室に持ち帰った後、10mm以下に粒度調整したものを試験用の試料とした。

実験概要を図2に示す。カラムには内径10cmφ、高さ20cmの透明塩ビ管を用いた。試料の充填体積は1.57Lとした。試料は突き固めながら充填し、充填量はそれぞれ1970g、充填密度は1.26g/cm<sup>3</sup>とした。カラム下部よりペリスタリックポンプで精製水を通水し、カラム上部からの流出水を一定時間ごとに採取し、pH、電気伝導率(EC)、各イオン濃度を測定した。通水速度は1.4mL/min(降雨強度10mm/h)とした。上述したようにA処分場では焼却残さと不燃残さの埋立割合が変化していることから、2013、2008、2003年度における埋立廃棄物の割合を模した条件をそれぞれRun1、2、3として実験を行った(表1)。また、B処分場では焼却残さのみ、C処分場では飛灰固化物と熔融スラグの埋立割合を模した条件をそれぞれRun4、5とし、同様に実験を行った。

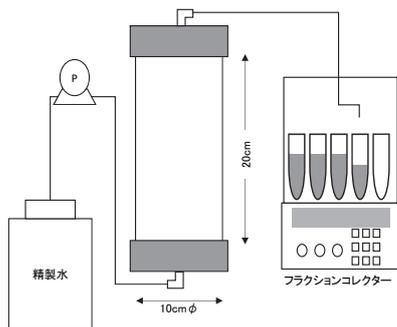


図2 カラム試験概要

表1 カラム試験実験条件

	模擬埋立年度	廃棄物混合割合(%)			
		一廃 焼却灰	一廃 不燃残さ	産廃 燃えがら	産廃 廃プラ
Run 1	2013	28	39	5	28
Run 2	2008	36	33	3	28
Run 3	2003	49	23	3	25
Run 4	2013	焼却灰 100			
Run 5	2015	飛灰固化物 71		熔融スラグ 29	

## 2.3 処分場におけるモニタリング

### (1) A処分場

最終層(中間覆土厚さ0.5m、廃棄物層厚さ2.5m)において2015、2016年度の埋立管理記録から焼却残さの埋立割合が異なる6箇所のセル1～6を選定し(表2)、各セルの深度1.0、

2.5m地点にモニタリング設備をそれぞれ設置した。設置にはエンジン式のパーカッション採土器(DIK-121E、大起理化学工業)を用いて穿孔(約60mmφ)を行い、それぞれの設備を埋設した。モニタリング設備は、内部の温度、含水率、電気伝導率を測定するためのセンサー、内部ガスを採取するための観測井、内部間隙水を採取するための間隙水採取器で構成されている。センサーはロガーによる自動計測、内部ガスはガスモニター(GA5000、Geotech)を用いた現場測定、間隙水は実験室での化学分析によりそれぞれデータを取得した。

表2 A処分場の各セルにおける埋立廃棄物量の割合

セル番号	埋立日	埋立量 [t]	一般廃棄物埋立割合[%]	
			焼却残渣	不燃残渣
1	2015/6/25	13.2	11	57
2	2015/6/11	15.9	35	31
3	2015/5/22	16.8	41	33
4	2016/6/1	11.8	14	44
5	2016/6/7	12.4	33	33
6	2016/6/6	13.2	40	27

セル1～3は埋立終了から約1年経過した2016年7月から、セル4～6は埋立終了直後(約2ヶ月後)の2016年8月から2019年2月までモニタリングを行った。

### (2) B、C処分場

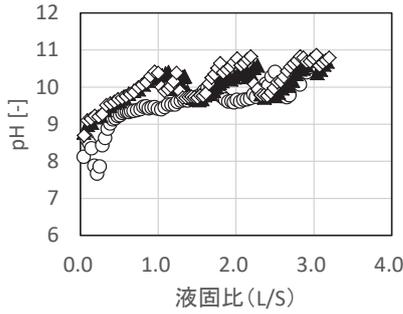
B処分場では2015、2016年度の埋立区画に、C処分場では2016年度の埋立区画にそれぞれモニタリング設備を設置した。ともに中間覆土は敷設されておらず埋立記録を踏まえ設置深度は1.0mとした。設備内容や設置方法はA処分場と同様である。モニタリング期間は2016年7月から2018年11月までとした。

## 3 結果と考察

### 3.1 カラム試験結果

Run1～3における通水量(液固比)に対するpHとECの変化を図3に示す。pHは通水1000mL以下の初期に8～9であり、その後、増減を経ながらも緩やかに上昇し10～11で安定する傾向が、また、ECは通水開始に伴い急激に増加し600mL(液固比0.3)付近でピーク値を示した後、緩やかに減少していく傾向が、それぞれRun1～3に共通して確認された。Run1では通水量400mL付近の初期にpHの一時的な低下が見られたが、Run2、3では見られなかった。Run1のpHの低下に伴うECの上昇はStanforthらが示したような理論的分解曲線と同様であった<sup>1)</sup>。焼却残さの混合割合が小さいRun1では、不燃残さ由来の有機物含有割合が大きくなり、有機物分解に伴う有機酸生成の寄与が大きくなったことが一因であると考えられた。他方、図には示していないが、Run4とRun5はともに液固比10を越えてもpHが12を維持しており、不燃残さを含まない場合、高アルカリの状態が続くことが示された。また、Run5のECはRun1～3と同時期にピーク値を示したがRun1～3の25倍以上の40S/mと極めて高い値を示すことが明らかとなった。

(a) pH



(b) EC

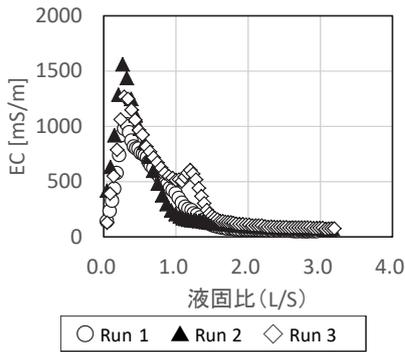


図3 カラム試験結果

通水量に対するイオン濃度変化を見ると、ナトリウムイオン、カリウムイオン、塩化物イオンともにECの変動パターンと非常に近似しており、溶出開始とともに急激に濃度上昇し、液固比0.3付近でピークが出現した後に緩やかに減衰し液固比1.5以後にはピークは消失していく傾向が示された。また、本調査で分析したイオン種 ( $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ ) によるピーク位置のずれは見られなかった。さらに、ピーク値、減衰速度、減衰後の濃度推移におけるRun1~3の順もカルシウムイオンを除き、ECの変動パターンと同一であった。さらに、Run1~3において測定した溶出濃度に通水量を乗じ得られた溶出量と焼却残さの混合割合との関係を求めたところ、図4に示すようにイオン類については高い直線性が得られ、イオン成分の溶出量は焼却残さからの寄与が大きく、その混合割合と正の相関があると示唆された。他方、全有機炭素 (TOC) にはこのような関係が見られなかった。

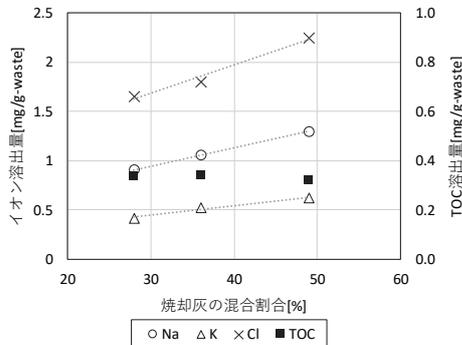


図4 焼却残さの混合割合に対する溶出量

これらのことから、処分場内部の溶出挙動は埋立廃棄物の質に大きく依存し、不燃残さの割合が大きいほどイオン類の溶出量は低減するものの有機汚濁成分についてはその限りではないことが明らかになった。不燃残さには汚れ等の付着物や洗剤やパーソナルケア製品といったプラ製品由来の残存有機物が含まれていることが筆者らの別の研究により明らかになっており<sup>2)</sup>、今後、不燃残さの埋立割合が多くなることにより、相対的に有機汚濁負荷が上昇する可能性が示唆された。

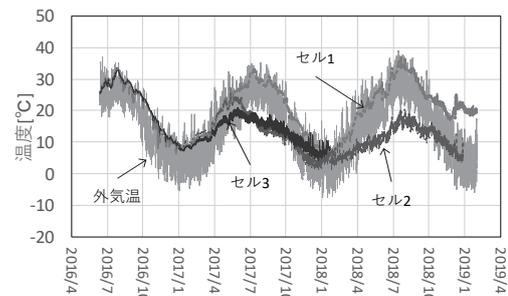
### 3.2 モニタリング結果

本稿では主に定常的にデータが取得できた内部温度、内部ガス濃度について報告する。EC、含水率については連続的なデータ取得ができていなかったり、時間経過に伴うセンサーの異常が生じた地点が複数確認された。この原因として、センサーと廃棄物層の接触不良や、センサーの劣化が考えられ、モニタリング継続のためにはセンサーの埋設方法改善や定期的な交換方法が必要であることが示唆された。

#### (1) A処分場

**内部温度:** 内部温度のモニタリング経過においては、いずれのセルも深度1.0mでは外気温に追従した温度変化を示した。一方、深度2.5mを見ると、セル4~6では埋立直後には約40°Cであったものの約1年後には30°C以下まで低下していた(図5)。セル1~3では冬季に低く夏季に高いという変動を有するものの20~30°Cの範囲で安定していた。このことから、埋立開始約1年後には内部温度は安定化することが示された。また、外気温の影響が小さい深度2.5mでは廃棄物の埋立割合による内部温度の相違は小さく、概ね一様の変動を示した。

#### (a) セル1~3(深度1.0m)



#### (b) セル1~3(深度2.5m)

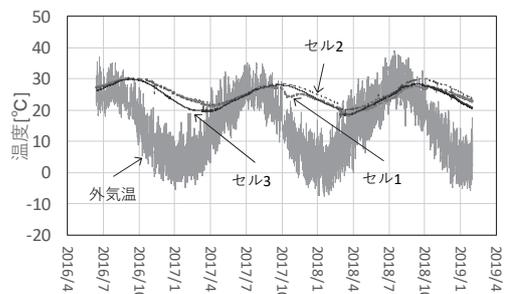
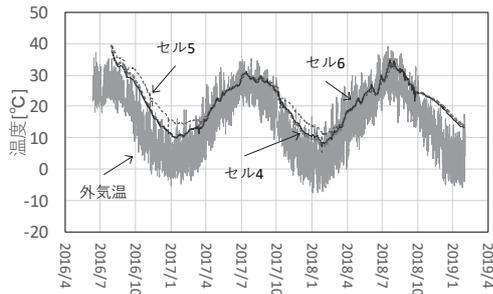


図5 A処分場における内部温度変化

(c) セル 4～6(深度 1.0m)



(d) セル 4～6(深度 2.5m)

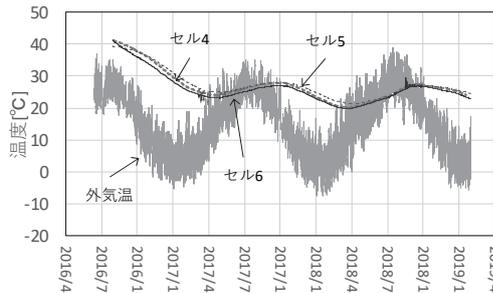
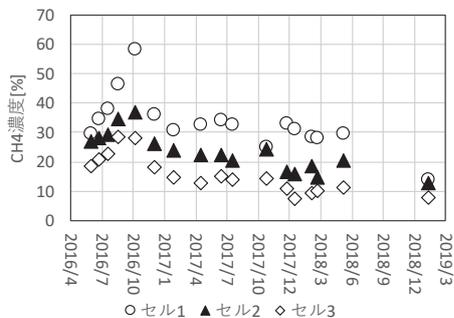


図5 A処分場における内部温度変化(続き)

**内部ガス:**全てのセルにおいて二酸化炭素は検出されず、焼却残さによる中和の影響が示唆された。深度2.5mにおけるメタン濃度を図6に示す。メタンはモニタリング開始後にピークを示したものの、その後は各セルにおいて一定の値で推移していた。さらに、酸素はほとんど検出されなかったことから、埋立層内の安定化プロセスにおけるメタン生成定常期に速やか

(a) セル 1～3



(b) セル 4～6

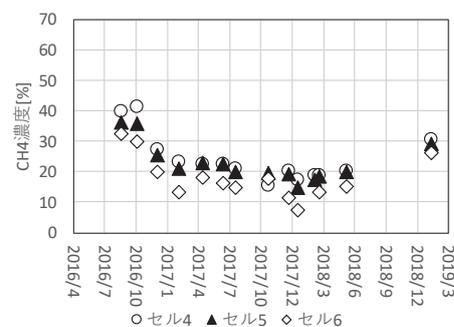
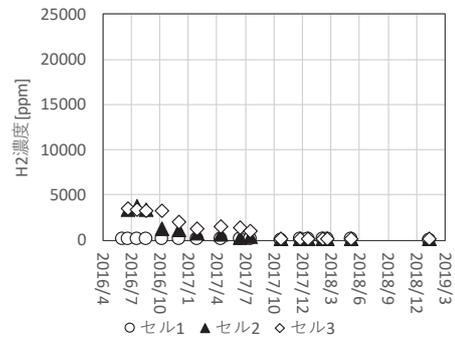


図6 A処分場におけるメタンガス濃度変化

に移行している可能性が示された。ただし、セル4～6では2019年2月のモニタリング時にわずかな濃度上昇が確認されたことから、今後の濃度推移を調査する必要がある。次に、深度2.5mにおける水素の濃度変化を図7に示す。セル4～6では埋立直後に5000～20000ppmのピーク値を示し、その後は減衰し1年半後には数百～数十ppmまで低下していた。この傾向は埋立終了から1年経過してからモニタリングを開始したセル1～3における濃度と整合していることから、水素の発生は埋立終了から1年半程度で安定化することが明らかとなった。焼却残さと不燃残さの埋立量の割合に対するガス濃度に着目すると、焼却残さの割合が小さいほどメタン濃度は高く、かつ水素濃度は低くなっていた。これは前項で述べた通り、不燃残さの割合が多くなると残存有機物の影響が大きくなる可能性が高くなる考察と合致しており、将来的にはメタン濃度が微増する可能性を示唆する結果であるといえる。

(a) セル 1～3



(b) セル 4～6

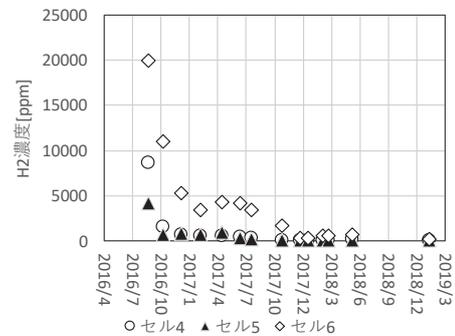


図7 A処分場における水素ガス濃度変化

## (2)B処分場

B処分場では台風等の影響によりモニタリング期間中に一時期冠水してしまう特殊な状況が発生し、この期間はメタン及び二酸化炭素は検出することができなかった。非冠水期間の水素濃度を見ると1年経過後は10000ppm以上の高い値であったものの2年経過後には約4000ppmまで低下していた(図8)。また、特筆すべき事象として、ECのモニタリング結果を見ると、冠水状況が改善された後は内部の電気伝導率が低下し、洗い出しが著しく進行することが確認された(図9)。このことは、浸出水中の化学物質濃度が著しく上昇することを示しており、浸出水処理施設への負荷が高まる可能性を示唆して

いる。近年、ゲリラ豪雨等の強雨イベントの発生頻度が高まっており、このような処分場の冠水事案は今後増えることが予想されることから、冠水対策とともに水処理施設の運転管理にも留意が必要であるといえる。

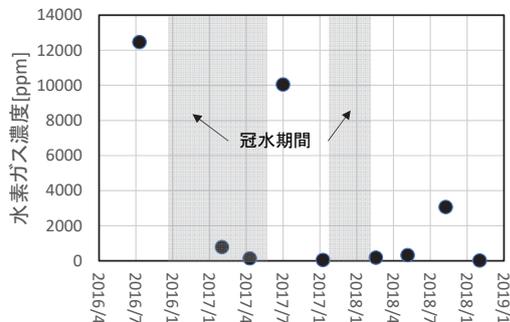


図8 B処分場における水素ガス濃度変化

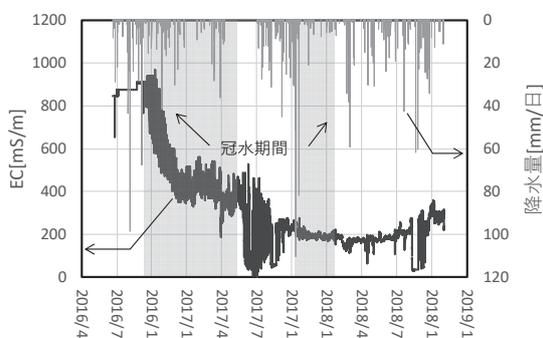


図9 B処分場におけるEC変化

### (3) C処分場

飛灰固化物と溶融スラグのみを埋め立てているC処分場では、メタンや二酸化炭素は検出されず水素ガスもピーク値で約600ppmとA、B処分場に比べ低い値であった。他方、カラム試験と同様にECが非常に高く、モニタリング期間中のほとんどにおいてセンサーの測定上限(1S/m)を下回ることがなかった(図10)。ECは降雨直後の飽和状態においてのみ測定が可能

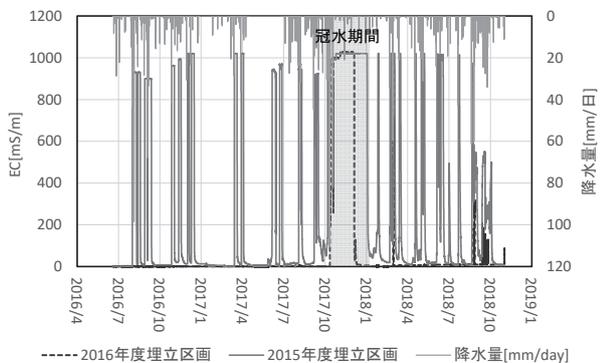


図10 C処分場におけるEC変化

であったため見かけ上ECの変動が大きくなっているが、実際はECの高い状態が継続されており、C処分場における安定化は遅くなる可能性が示された。焼却残さのリサイクルが進んでいく将来において、相対的に処分場への飛灰の埋立割合の増加が予想されるだけでなく、飛灰を埋め立てていなくとも今後は飛灰を受け入れていかざるを得ない状況の処分場も出てくる可能性が考えられる。このことは今後の処分場維持管理において、認識すべき課題となるといえる。

## 4 まとめと今後の課題

本研究より、実際の埋立廃棄物を用いたカラム試験から廃棄物の種類や混合割合に対する溶出挙動を、実際の処分場でのモニタリング結果からA処分場では埋立終了後1~2年ですでに安定化プロセスにおけるメタン生成定常期にあるとともに、焼却残さの埋立割合によってメタン、水素の発生濃度に差が見られたことから安定化挙動が異なることを、それぞれ明らかにした。さらに、本稿では触れていないが比抵抗モニタリングにより安定化の重要な因子である水分移動に伴う洗い出しの進行状況を可視化できることも示唆されている<sup>3)</sup>。他方、B処分場のモニタリングからは冠水状態が洗い出しに与える影響を、C処分場のモニタリングからは飛灰固化物の埋立による安定化遅延の可能性を、それぞれ明らかにした。これらの結果より、焼却残さリサイクルが進んでいく今後の循環型社会における処分場の安定化挙動を把握することができただけでなく、ゲリラ豪雨といった異常気象が維持管理に与える影響についての知見も得ることができた。

今後の課題として、メタン生成定常期がいつ収束するのか等、中長期的なモニタリングを継続していく必要がある。

## 謝辞

本研究の一部は、科学研究費助成事業「将来の埋立廃棄物の変質を見据えた最終処分場における埋立廃棄物の安定化評価」(課題番号 15K16149)によって行われた。

## 文献

- 1) R. Stanforth *et.al.*, (1979) Development of a synthetic municipal landfill leachate, J. Water Pollution Control Federation, Vol. 51, No. 7, pp. 1965-1975.
- 2) 川寄幹生(2014)使用済み化粧品・医薬部外品の処理処分場の現状と課題、廃棄物資源循環学会誌、Vol. 25, No. 3, pp. 165-172.
- 3) 磯部友護ら(2017)埋立廃棄物の質的相違を考慮した最終処分場の比抵抗モニタリング、第28回廃棄物資源循環学会研究発表会要旨集, pp.431-432.

## **A study on the solid waste stabilization in landfills for expected changes of waste composition**

**Yugo ISOBE, Mikio KAWASAKI, Takahito HASE and Kazuyuki SUZUKI**

### **Abstract**

Observations of landfill inside and lysimeter experiments of several waste compositions, the mixing ration of incineration ash and incombustible residue, are conducted in order to evaluate of waste stabilization looking forward future waste quality change. The positive correlations between waste compositions and ionic elution are indicated from lysimeter experiments. In addition, our data of landfill observations revealed that the waste composition affected the concentrations of methane and hydrogen gaseous. And we concluded that these landfill sites were in the phase of steady-state methane formation one to two years after landfilling operation by the temporal change data of inner temperature and methane concentration. In addition, we evaluated not only the influence of overhead flooding on waste stabilization, but also the delay of waste stabilization by landfilling chemical treated incineration fly ash.

**Key words:** landfill, stabilization, monitoring

[資料]

# 埼玉県における絶滅危惧植物の分布と減少要因の解析

三輪誠 嶋田知英

## 1 はじめに

埼玉県では、生物多様性保全の一環として、絶滅が危惧されている動植物についてレッドデータブック動物編と植物編(図1)を作成し、それらの保護を推進している。現在、レッドデータブック動物編には842種が、植物編には1031種が、それぞれリストアップされている<sup>1,2)</sup>。レッドデータブック掲載種の中でも、特に重点的に保護する必要がある動植物種は、「埼玉県希少野生動植物の種の保護に関する条例」に基づいて、「県内希少野生動植物種」として、動物3種、植物19種が指定されている(表1)。これらの種の中で、特に計画的な保護管理が必要な種については、「保護管理事業計画」が策定され、それに基づいた保護管理が行われている。なお、現在、保護管理事業計画は、15種について策定されている。



図1 埼玉県レッドデータブック動物編(左)と植物編(右)

表1 県内希少野生動植物種

	動植物名	科名		動植物名	科名
動物	ムサシトミヨ	トゲウオ科	植物	チヂブイワザクラ	サクラソウ科
	アカハライモリ	イモリ科		チヂブリンドウ	リンドウ科
	ソボツチスガリ	フンダカバチ科		キタミソウ	ゴマノハグサ科
植物	アオネカズラ	ウラボシ科		キバナコウリンカ	キク科
	キレハオオクボシダ	ヒメウラボシ科		ミヤマスカシユリ	ユリ科
	デンジソウ	デンジソウ科		トダスゲ	カヤツリグサ科
	イトハコベ	ナデシコ科		ムギラン	ラン科
	オニバス	スイレン科		ホテイアオイ	ラン科
	タマノカンアオイ	ウマノスズクサ科		コクラシ	ラン科
	サワトラノオ	サクラソウ科		トキソウ	ラン科
	サクラソウ	サクラソウ科		ムカゲラン	ラン科

埼玉県レッドデータブックは、県内で絶滅のおそれのある野生生物種をリストアップし、絶滅危惧のカテゴリー別に分類するとともに、その種に関する全般的な評価所見、県内での分布や生育・生息に関する所見、減少要因に関する所見などを種ごとにとりまとめて掲載したものである。そのため、埼玉県の絶滅危惧種に関する大まかな情報は得ることができるものの、県内での分布状況や、各分布地点での生育・生息状況、減少要因などについての詳細な情報は得ることができない。このことから、行政が絶滅危惧種に関するコンサルティングや保全活動の支援などを行おうとする場合や、その分布状況などについて解析しようとする場合においては、レッドデータブックに記載されている情報のみの把握では不十分である。そのため、県内の絶滅危惧種に関する詳細な情報を入手するとともに、その分布状況などを解析するための基盤として、データベースの構築が必要とされている。

これまで、埼玉県レッドデータブック動物編と植物編は、定期的に改訂作業が行われてきた。動物編は、平成8年3月に初版、平成14年3月に第2版、平成20年3月に第3版、平成30年3月に第4版「埼玉県レッドデータブック2018動物編」が発行された。また、植物編は、平成10年3月に初版、平成17年3月に第2版が、平成24年3月に第3版「埼玉県レッドデータブック2011植物編」が発行された。植物編については、第3版が最新版であり、これを編さんするにあたり、リストアップされた絶滅危惧植物の個々の生育地において分布確認調査が実施され、生育状況などに関する情報が得られている。

そこで、本研究では、埼玉県における絶滅危惧植物の分布や生育状況などの基礎的情報を、レッドデータブック編さん時に実施された分布確認調査のデータを中心に収集し、データベースを構築した。また、このデータベースを用いて、県内における絶滅危惧植物の分布状況やその減少要因などについて解析を試みた。

## 2 方法

「埼玉県レッドデータブック2011植物編」を編さんする際、平成20年から平成22年までの3年間にわたり、絶滅危惧植物に関する分布確認調査が県内を網羅するように実施された。こ

の調査は、埼玉県レッドデータブック植物編再改訂調査検討会の助言の下、県がNPO法人埼玉県絶滅危惧植物種調査団に委託したものである。この調査では、各調査地点において、以下の14項目が記録された。

1)植物種名、2)調査地、3)現地確認日、4)調査地が含まれる三次メッシュ(1km×1km)コード、5)標高、6)調査地帯区分、7)生育状況、8)証拠標本の有無、9)現存する集団数、10)全集団の群落総面積、11)全集団の総株数、12)以前と比較したときの増減、13)調査地における絶滅危惧植物の減少要因及び14)その他の所見

なお、各調査地点における絶滅危惧植物の減少要因については、以下の27要因が提示され、3つまでの複数回答を可能とした。

a)危険要因なし、b)森林伐採・整地、c)池沼開発、d)土地改修、e)河川敷開発、f)湿地開発、g)草地開発、h)石灰採掘、i)ゴルフ場、j)土地造成、k)道路新設・拡幅、l)ダム建設、m)埋め立て・残土盛、n)水質汚染、o)農薬汚染、p)園芸採取、q)薬用採取、r)踏みつけ、s)動物(シカ)食害、t)管理放棄、u)自然遷移、v)気候温暖化、w)自然乾燥化、x)帰化競合、y)産地極限、z)その他、aa)判断できない

本研究では、上記の調査により得られた絶滅危惧植物に関する情報を県みどり自然課から収集するとともに、その植物種が属する科名や学名を「植物和名-学名インデックス」(YList)<sup>3)</sup>から、実際に直面している埼玉県及び全国レベルでの絶滅危惧の程度についての情報を県みどり自然課及び環境省からそれぞれ収集し、データベースソフト「FileMaker Pro 14」(FileMaker社製)を用いてデータベースを構築した。また、構築したデータベースを用いて、県内における絶滅危惧植物の分布状況やその減少要因などについて市町村別に解析を試みた。

### 3 結果と考察

#### 3.1 データベースの構築

平成20年から平成22年までの3年間にわたる絶滅危惧植物の分布確認調査の結果、絶滅危惧植物が県内5891地点(調査地点の実数)で確認された。ただし、この調査では、緯度・経度といった確認地点が正確に特定できるデータの収集は行われなかった。そのため、近接した地点に複数の希少種が確認された場合、それぞれ異なる地点として記録されているものの、正確にそれらの位置関係の差異を判断することはできない。

これらの確認情報に基づいて、各調査地点で得られた上記の14項目についての情報などをワンシートで表示できるデータベースを構築した。すなわち、このデータベースには、埼玉県における絶滅危惧植物に関する情報が、確認地点ごとに、図2に例として示したシート(5891枚)として収納されており、各項目の内容からの検索も可能となっている。なお、現在、この

2011種番号	1575	
2011埼玉カテゴリ	CR	内容 絶滅危惧 I A類
2012全国カテゴリ	絶滅危惧 I B類(EN)	
植物種名	ミヤマスカシユリ	
学名	<i>Lilium maculatum</i> Thunb. var. <i>bukosanense</i> (Honda) H.Hara	
科名	ユリ科	
調査地	横瀬町横瀬武甲山	
メッシュコード	5339-7047W	
標高_m.	1018	
現地確認日	2010/06/13	
調査履歴	2	内容 継続(生育している)
調査地帯区分	12	内容 山地(800-1600m)
生育状況1	25	内容 開花
生育状況2		内容
証拠標本	33	内容 写真あり
現存する集団数	1	内容 新規
群落総面積	41	内容 1㎡未満
全集団の総株数	52	内容 1~9株(本)
以前からの増減	63	内容 80%以上減少
減少要因1	78	内容 石灰採掘
減少要因2		内容
減少要因3		内容
所見	能見三郎氏からの情報	
調査者名	牧野彰吾	
共同作業者名		

図2 埼玉県絶滅危惧植物データベースの表示例

絶滅危惧植物に関するデータベースは、保全上の理由から、研究と行政での利用にとどめている。

分布確認情報が得られた5891地点で確認された絶滅危惧植物の種数は602種であった。「埼玉県レッドデータブック2011植物編」には、1031種の絶滅危惧植物が掲載されていることから、掲載種のうちの58%について分布確認情報が得られたことになる。これらの種を分類群別に見ると、維管束植物が574種、その他の分類群(蘚苔類、藻類、地衣類及び菌類)が28種であり、得られた情報の多くが維管束植物に関するものであった。

#### 3.2 県内における絶滅危惧植物の分布状況

構築したデータベースを用いて、県内における絶滅危惧植物の分布状況を解析した。

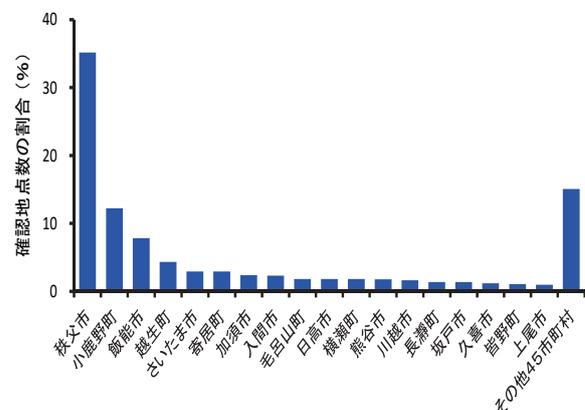


図3 絶滅危惧植物の全確認地点数(5891地点)に対する各市町村別確認地点数の割合

図3に、絶滅危惧植物の確認地点数の割合を市町村別に示した。県内で絶滅危惧植物が確認された5891地点のうち、秩父市の確認地点数の割合が最も高く、次いで小鹿野町、飯能市、越生町、さいたま市の順に高かった。また、絶滅危惧植物の確認地点の半数以上が秩父地域(秩父市、小鹿野町、横瀬町、長瀨町及び皆野町を併せた地域)とその近隣地域(飯能市、越生町、寄居町、毛呂山町、日高市、入間市)にあることが分かった。このことから、埼玉県では、秩父地域とその近隣地域を中心とした山地と丘陵地に絶滅危惧植物が多く分布していると考えられた。これに対して、絶滅危惧植物の確認地点数の割合が極めて少ない(0.1%以下の)市町村は、県内63市町村のうち約2割に相当する13市町であった。

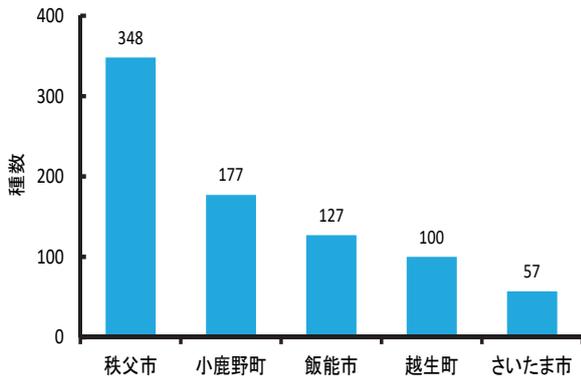


図4 絶滅危惧植物の確認地点数が多い上位5市町で確認された種数

表2 絶滅危惧植物の確認地点数が多い上位5市町での絶滅危惧カテゴリー別の存在割合

	絶滅(%)	野生絶滅(%)	絶滅危惧Ⅰ類(%)	絶滅危惧Ⅱ類(%)	準絶滅危惧(%)	情報不足(%)
秩父市	0.0	0.3	40.8	28.7	29.6	0.6
小鹿野町	0.0	0.0	27.7	29.4	42.4	0.6
飯能市	0.0	0.0	24.4	23.6	50.4	1.6
越生町	0.0	0.0	26.0	24.0	50.0	0.0
さいたま市	0.0	0.0	33.3	28.1	35.1	3.5

＜絶滅危惧カテゴリー＞

- 1) 絶滅: 埼玉県ではすでに絶滅したと考えられる種
- 2) 野生絶滅: 飼育・栽培下でのみ存続している種
- 3) 絶滅危惧Ⅰ類: すでに絶滅の危機に瀕している種
- 4) 絶滅危惧Ⅱ類: 絶滅の危機が増大している種
- 5) 準絶滅危惧: 現時点では絶滅の危険度は低いが、生育条件の変化によっては「絶滅危惧」に移行する可能性がある種
- 6) 情報不足: 評価するだけの情報が不足している種

図4に、絶滅危惧植物の確認地点数が多い上位5市町(秩父市、小鹿野町、飯能市、越生町、さいたま市)で確認された種数を示した。絶滅危惧植物の確認地点数が最も多い秩父市では348種の絶滅危惧植物が確認され、以下順に小鹿野町では177種、飯能市では127種、越生町では100種、さいたま市では57種の絶滅危惧植物が確認された。これらの市町で確認された絶滅危惧植物を、絶滅危惧のカテゴリー別に見ると、秩父市では「絶滅危惧Ⅰ類」の割合(40.8%)が高く、小鹿野町、飯能市及び越生町では「準絶滅危惧」の割合(それぞれ42.4%、50.4%及び50.0%)が高い傾向にあった(表2)。また、さいたま市では、「絶滅危惧Ⅰ類」と「準絶滅危惧」の割合(それぞれ33.3%及び35.1%)がほぼ同程度であった。なお、「絶滅危惧Ⅱ類」の割合は、いずれの市町でも大差ない状況であ

った。これらのことから、特に秩父市では、他の市町に比べて絶滅危惧植物が多く分布し、絶滅危惧の程度を表すカテゴリー別に見ても、すでに絶滅の危機に瀕している「絶滅危惧Ⅰ類」に属する種の割合が高い状況にあることが分かった。

### 3.3 絶滅危惧植物の減少要因

絶滅危惧植物の確認地点数が多い上位5市町で、構築したデータベースを用いてその減少要因を解析した。

表3に、絶滅危惧植物の確認地点数が多い上位5市町において、その減少要因を割合の高い順に示した。各市町において、10%以上を占める減少要因を主要な要因として着目すると、秩父市では森林伐採・整地、動物(シカ)食害、自然遷移及び園芸採取の順で、小鹿野町では自然遷移、石灰採掘、森林伐採・整地、園芸採取及び動物(シカ)食害の順で、飯能市と越生町では森林伐採・整地、園芸採取及び自然遷移の順で、さいたま市では自然遷移、湿地開発、河川敷開発及び自然乾燥化の順で、それぞれ減少要因としての割合が高かった。

これらの結果を踏まえて、表4に、絶滅危惧植物の主要な減少要因を、上位5市町間での共通点を考慮してまとめた。秩父市、小鹿野町、飯能市、越生町及びさいたま市(山地、丘陵地及び市街地を含む地域)では自然遷移が、秩父市、小鹿野町、飯能市及び越生町(山地及び丘陵地を含む地域)では森林伐採・整地や園芸採取が、秩父市及び小鹿野町(山地地域)では動物(シカ)食害が、それぞれ共通の減少要因として挙げられた。すなわち、自然遷移については様々な地域で生じうる

表3 絶滅危惧植物の確認地点数が多い上位5市町における減少要因の割合

秩父市		小鹿野町		飯能市		越生町		さいたま市	
減少要因	割合(%)	減少要因	割合(%)	減少要因	割合(%)	減少要因	割合(%)	減少要因	割合(%)
森林伐採・整地	25.0	自然遷移	22.9	森林伐採・整地	35.0	森林伐採・整地	24.9	自然遷移	19.6
動物(シカ)食害	19.7	石灰採掘	18.3	園芸採取	15.3	園芸採取	18.1	湿地開発	12.0
自然遷移	12.8	森林伐採・整地	18.0	自然遷移	11.6	自然遷移	10.4	河川敷開発	10.9
園芸採取	11.0	園芸採取	14.2	踏みつけ	5.1	農業汚染	8.0	自然乾燥化	10.1
踏みつけ	9.6	動物(シカ)食害	12.6	土地改修	4.8	危険要因なし	7.7	管理放棄	9.8
自然乾燥化	6.1	踏みつけ	4.1	土地造成	4.6	道路新設・拡張	5.3	埋め立て・残土置	7.2
道路新設・拡張	3.7	自然乾燥化	2.8	動物(シカ)食害	4.6	河川敷開発	5.3	土地造成	6.9
危険要因なし	3.6	道路新設・拡張	1.8	道路新設・拡張	3.1	土地改修	4.7	園芸採取	5.4
石灰採掘	2.2	危険要因なし	1.5	河川敷開発	2.9	土地造成	2.7	水質汚染	4.0
その他(15要因)	6.3	その他(10要因)	3.7	その他(15要因)	12.8	その他(13要因)	12.2	その他(9要因)	14.1
合計	100.0	合計	100.0	合計	100.0	合計	100.0	合計	100.0
回答数の合計	2962	回答数の合計	1123	回答数の合計	646	回答数の合計	337	回答数の合計	276

注)各地点における減少要因の回答は3つまでの複数回答を可能とした。

表4 絶滅危惧植物の確認地点数が多い上位5市町間での共通点を考慮してまとめた絶滅危惧植物の主要な減少要因

＜市町＞	＜地帯区分＞	＜減少要因＞
秩父市、小鹿野町	山地	自然遷移
飯能市、越生町	丘陵地	
さいたま市	市街地	
秩父市、小鹿野町	山地	森林伐採・整地、園芸採取
飯能市、越生町	丘陵地	
秩父市、小鹿野町	山地	動物(シカ)食害
小鹿野町	山地	石灰採掘
さいたま市	市街地	湿地開発、河川敷開発、自然乾燥化

減少要因であるが、森林伐採・整地や園芸採取については主に山地や丘陵地、動物(シカ)食害については主に山地における主要な減少要因であると考えられた。また、さいたま市では湿地開発、河川敷開発及び自然乾燥化が、小鹿野町では石灰採掘がその市町特有の減少要因として挙げられた。

### 3.4 秩父地域とその近隣地域での絶滅危惧植物の保全

埼玉県では、秩父地域とその近隣地域、特に、秩父市、小鹿野町、飯能市及び越生町を中心に絶滅危惧植物が多く分布していることが分かった(図3、図4)。そのため、これらの市町を中心に分布する絶滅危惧植物の保全対策を早急に検討することが望まれる。これらの市町における主要な減少要因として、自然遷移、森林伐採・整地、園芸採取、動物(シカ)食害及び石灰採掘が挙げられた(表3、表4)。したがって、この地域に生育する絶滅危惧植物を保全するためには、これらの減少要因の影響をできる限り軽減することが必要となると考えられた。

秩父地域では、シカの食害による被害が顕在化している。また、秩父市や小鹿野町には絶滅危惧植物が特に多く分布し(図3、図4)、その主要な減少要因のひとつとして、動物(シカ)の食害が挙げられた(表3、表4)。ちなみに、秩父市では、動物(シカ)の食害が減少要因全体のうちの約2割を占めた(表3)。現在、埼玉県では、シカの捕獲を年間3000頭程度を目標に実施し、個体密度の低減や生息域拡大の防止に努めている<sup>4)</sup>。動物(シカ)の食害が絶滅危惧植物の減少要因となっている秩父地域においては、計画的なシカ捕獲の推進が絶滅危惧植物の保全に寄与することが期待される。

## 4 まとめ

本研究では、「埼玉県レッドデータブック2011植物編」を編さんするにあたり実施された県内における絶滅危惧植物の分布確認調査の結果に基づいて、データベースを構築した。このデータベースには、県内5891地点で得られた絶滅危惧植物602種に関する情報が収録されている。また、このデータベースを用いて、県内における絶滅危惧植物の分布状況や減少要因などについて、市町村別に解析を試みた。その結果、以下のことが分かった。

1) 県内で絶滅危惧植物が確認された5891地点のうち、秩父市の確認地点数の割合が最も高く、次いで小鹿野町、飯能市、越生町、さいたま市の順に高かった。また、絶滅危惧植物の確認地点の半数以上が秩父地域とその近隣地域にあることが分かった。

2) 絶滅危惧植物の確認地点数が多い上位5市町(秩父市、小鹿野町、飯能市、越生町、さいたま市)で確認された種数をみると、特に秩父市には多くの絶滅危惧植物(348種)が確認され、絶滅危惧の程度を表すカテゴリー別にみても、すでに絶滅の危機に瀕している「絶滅危惧Ⅰ類」に属する種の割合が高い状況にあることが分かった。

3) 絶滅危惧植物の確認地点数が多い上位5市町間で共通の減少要因を検討した結果、秩父市、小鹿野町、飯能市、越生町及びさいたま市では自然遷移が、秩父市、小鹿野町、飯能市及び越生町では森林伐採・整地や園芸採取が、秩父市及び小鹿野町では動物(シカ)食害が、それぞれ共通の減少要因として挙げられた。また、さいたま市では湿地開発、河川敷開発及び自然乾燥化、小鹿野町では石灰採掘による減少も指摘され、これらの要因は、その市町特有の減少要因と考えられた。

これらのことから、秩父地域とその近隣地域、特に、秩父市、小鹿野町、飯能市及び越生町を中心に絶滅危惧植物が多く分布し、その主要な減少要因として、自然遷移、森林伐採・整地、園芸採取、動物(シカ)食害及び石灰採掘が挙げられた。これらの減少要因による影響をできる限り軽減することを念頭に置きつつ、現在秩父地域ではシカ捕獲が推進され、絶滅危惧植物の保全対策を後押ししている。

## 文献

- 1) 埼玉県環境部みどり自然課(2018)埼玉県レッドデータブック2018動物編。
- 2) 埼玉県環境部自然環境課(2012)埼玉県レッドデータブック2011植物編
- 3) 米倉浩司・梶田忠(2003)「BG Plants 和名-学名インデックス(YList)」, <http://ylist.info>
- 4) 埼玉県(2017)第2次埼玉県第二種特定鳥獣管理計画(ニホンジカ)

[資料]

# 太陽光発電パネル設置による蒸発量への影響についての研究 — 発電パネルを模擬した太陽光遮蔽設備による実験 —

長谷隆仁

## 1 はじめに

2012年再生可能エネルギーの固定価格買取制度の開始以降、わが国では太陽光発電の導入が急増した<sup>1)</sup>。廃棄物最終処分場(以下、処分場)においても、跡地活用の手段として太陽光発電の導入が進んだ。

太陽光発電は、太陽放射、いわゆる太陽光のエネルギーを利用する。一方、この太陽由来のエネルギーは、太陽から放射される日射(短波放射) $S \downarrow$ と大気放射(長波放射) $L \downarrow$ として地表面に到達、その一部は反射 $S \uparrow$ 、あるいは熱放射 $L \uparrow$ として再び上方に放射される(図1)。その放射収支より、地表面に到達する正味の放射量は純放射量( $R_n = S \downarrow + L \downarrow - S \uparrow - L \uparrow$ )と呼ばれ、大気間を移動する熱量(顕熱: $H$ )、蒸発に利用される熱量(潜熱: $IE$ )、及び地中を伝熱する熱量(地中伝熱: $G$ )に分配され(熱収支)、地表面での気象因子に深く関係する。

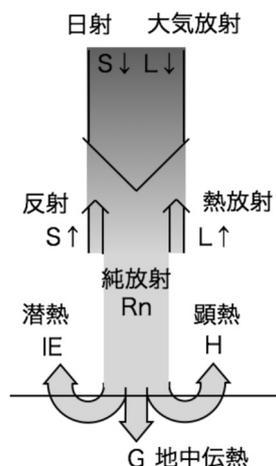


図1 地表面における熱収支

したがって、太陽光エネルギーを発電利用するソーラーパネル設置は、顕熱の変化に伴う気温への影響<sup>2,3)</sup>が懸念されているが、ほかにも純放射量や熱収支への影響は、潜熱すなわち蒸発量の減少も引き起こす可能性がある。廃棄物の処分場埋立地は「保有水(浸出水量) = 降水量 - 蒸発散量 - 表面流出量」という水収支関係にあるため、蒸発量減少というソーラーパネル設置による一次的影響は、処分場跡地を設置場所とした場合、保有水(浸出水)量増加といった処分場固有の二次的影響を引き起こす可能性がある。特に管理型処分場の場合は、発生した浸出水の処理が必要であり、浸出水量増加により、水処理費用の増大、調整槽への負荷増、埋立地内部への保有水貯留の頻度増といった事態も懸念される。以上のことから、処分場埋立跡地へのソーラーパネル設置がど

の程度蒸発量や浸出水量に影響するのかを把握する事は、処分場への太陽光発電導入時の判断材料あるいは処分場管理上必要と考えられる。

蒸発量や浸出水量への影響を把握する方法として、ソーラーパネル設置前後での浸出水量を比較する方法が考えられるが、埼玉県内で太陽光発電を導入した処分場では、浸出水量記録がない、あるいは埋立終了後の表面遮水工や雨水排除工などにより比較上有意義な浸出水量記録が得られなかった。仮に浸出水量記録があったとしても、浸出水量は降水量が増えれば増加するので、降水量といった大きな季節・年変動による浸出水増減への影響と、ソーラーパネル設置による影響を分離する必要があるが、県内処分場は、固定価格買取制度開始以降に太陽光発電を導入しており、統計的処理に必要なデータ量も十分とはいえない。一方、蒸発散量の観測方法は、通年観測可能な方法も含め豊富である<sup>4,5)</sup>。ソーラーパネル設置の一次的な影響は放射収支・熱収支、特に蒸発量への影響であり、これが浸出水、処理費用等へ二次的に影響するという事を考えれば、その影響の元である一次的な影響をまず明らかにする事が重要である。また、降水量と蒸発散量から推定する合理式により浸出水量を推定する方法もある<sup>6,7)</sup>。以上のことから、ソーラーパネル設置の一次的な影響である放射収支・熱収支への影響把握を本研究の中心的な課題とした。

ただし、蒸発散量観測は通常裸地で行われ、それ以外の構造物下といった観測例はわずかである<sup>8)</sup>。そこで、直接ソーラーパネル設置処分場での観測を行うのではなく、まず、ソーラーパネル設置状況の確認を行った。さらに、処分場観測への適用性・妥当性・問題点等の検討を兼ねて、ソーラーパネルを模擬した実験装置において、複数の蒸発散量観測法による比較観測を行った。本報では、主にこの模擬実験の結果について報告する。

## 2 方法

### 2.1 予備調査

太陽光発電設備が設置された埼玉県内の6処分場を視察

した。併せて、蒸発散に影響するソーラーパネル下の地表面の状況等を確認した。

## 2.2 簡易蒸発計とパン蒸発計との比較観測

パン蒸発計は通常気象観測で用いられる代表的な蒸発計の一つである。ただし、ソーラーパネルの下に設置するのが困難であり、ソーラーパネル設置処分場での観測には不適である。一方、簡易蒸発計は、水を充填したポリ瓶にポーラスカップを差し、重量変化から蒸発量を求める装置で、気象観測で用いられるパン蒸発計と相関関係があり<sup>9)</sup>、ソーラーパネルの下に設置するのは容易でかつ安価である。そこで、簡易蒸発計(ウイジン製、UIZ-PE100)の精度管理等のため、市販の組立棚を加工して防水・防風対策を施し、重量計で重量変化を測定できるように自作した上で、パン蒸発計との比較観測を行って、有効性を検証した(写真1)。



写真1 簡易蒸発計(中央)。左は比較したパン蒸発計

## 2.3 模擬実験

### 2.3.1 模擬パネル

埼玉県環境科学国際センター敷地内にアングルで縦1.2m×横1.8m×高さ1.2mのフレームを組み立て、北面は開放し、それ以外はアングル、ビニールシート、プラスチックダンボール(以下、プラダン)で上部・周囲を囲み、ソーラーパネルによる遮光状態を模擬した(写真2)。プラダンが日光を吸収する色だと内部温度が高温になって、実際のパネル下の状況と異なる恐れがあったので写真のように白色プラダンにしている。この模擬パネルと、対照の隣接する裸地の2点において熱収支・蒸発量の比較観測を行った。処分場での適用性・実現可能性を考慮しつつ、代表的と思われる手法として簡易蒸発計、自作ライシメーター、熱収支・ボーエン比法を選択した。



写真2 パネル設備

### 2.3.2 簡易蒸発計

簡易蒸発計(ウイジン製、UIZ-PE100)を用いた。

### 2.3.3 自作ライシメーター

プラスチック製トロ舟(30×50×15cm)を2段重ねてライシメーターを自作した。上段のトロ舟に風乾した黒ぼく土9kgと赤

土3.5kgを混合して充填し、雨水排水口を開け、下段のトロ舟で上段からの排水を受けるようにした。このライシメーター3セットを模擬パネル開口から見て横並びに穴を掘って上部だけが出るように埋めた。週に1、2回の頻度で、降水量、ライシメーター重量、排水量等を計量し、その水収支から蒸発量を求め、ライシメーター上部面積で除してmmに換算した。計量時には模擬パネルのライシメーターに、降雨量相当の水を人為的に給水し、実際のソーラーパネル下でもパネルの隙間から降雨が滴下するのを模した。

### 2.3.4 熱収支・ボーエン比法<sup>5)</sup>

熱収支式 $R_n=H+IE+G$ において、ボーエン比( $B=H/IE$ )を用いると、潜熱 $IE$ 及び顕熱 $H$ は次式で表すことができる。

$$IE=Q_n/(B+1) \quad H=Q_n B/(B+1) \quad (式1)$$

ここで $Q_n=R_n-G$ である。ボーエン比は2点の高度の温度( $T$ )と水蒸気圧( $e$ )の差から次式によって求められる。

$$B=\gamma(T_1-T_2)/(e_1-e_2) \quad (式2)$$

ここで、 $\gamma$ は乾湿計定数である。日射計(英弘精機製、ML-01)、長波放射計(Hukseflux製、HF-IR02)、温湿度計(Onset製、S-THB-M)、熱流計(Hukseflux製、HFP01)を組み合わせて観測装置を作成し、横並び3セットのうち真ん中のライシメーター上に設置した(写真3)。日射計・長波放射計( $S\downarrow \cdot S\uparrow \cdot L\downarrow$ )と、地表に刺した温度計の値とステファン・ボルツマンの式から算出した熱放射量( $L\uparrow$ )から純放射量 $R_n(W/m^2)$ を求め、熱流計で地中伝熱 $G(W/m^2)$ を得た。さらに、2高度の温湿度計から得た温度と湿度から、湿度は水蒸気圧に変換した後、ボーエン比を算出し、式1より潜熱及び顕熱を求めた。

式1からわかるように、 $B=-1$ では潜熱は得られない。 $B=-1$ となる事は実際ないが、 $-1$ 付近になる事はあり、この場合、計算精度が悪化する事が知られている。事前観測では、模擬パネルの上部プラダンに近い位置に温湿度計を設置すると、温まったプラダンの影響を受けて地面近くより温度が高くなる。この時、ボーエン比計算を行うと、ボーエン比がマイナス、顕熱がマイナスとなり、潜熱が異常に大きくなる事態が頻発した。Ohmuraは、誤推計の元となるボーエン比異常値を棄却するための判定法を開発しており<sup>10)</sup>、当判定法で異常値棄却を行うことができた。本報でも当判定法によるデータ処理を行った。



写真3 自作ライシメーターと熱収支観測機器

また、当初、温湿度計の設置高度は、下位置23cm・上位置95cmである程度上板プラダンから離していたが、2016/9/14より上位置を75cmと、さらに離す事で欠測発生の抑制を図った。

### 3 結果と考察

#### 3.1 予備調査

予備調査結果の比較概要を表1に示す。ほとんどの処分場で借地料収入を得ており、定期的に人力による除草を行っている。4処分場でパネル下の地表面は土であった。パネル下・周囲・管理用運搬通路に砂利が敷かれる場合があったが(2処分場全面)、雨水排除工などにより、研究上意味のある浸出水量を把握できる処分場は無かった。

表1 予備調査による処分場比較

	運営	地表面	浸出水量
A	借地	土	把握不可
B	借地	土	複数区画の集合水処理・把握困難
C	リース	土・砂利等	放流量のみ
D	借地	土(シート上嵩上げ)	シートによる雨水排除により浸出水無
E	借地	土	水処理施設無・把握不可
F	借地	土・砂利等	雨水排除抑制覆土(キャピラリーバリア)

#### 3.2 簡易蒸発計とパン蒸発計との比較観測

図2には、模擬実験に先んじて行ったパン蒸発計との比較検証の結果を示した。簡易蒸発計とパン蒸発計の単位が異なるため直接比較できないが、一部測定エラーが疑われる8月を除けば、類似した増減傾向を示した。蒸発量値比(簡易蒸発計/パン)の値は平均0.15で、冬期に高くなる傾向があったものの、パン蒸発計の簡易な代替法として利用可能である。



図2 簡易蒸発計・パン蒸発計による蒸発量比較

#### 3.3 模擬実験

以下2016/9/2～10/28の約2か月間の観測結果を示す。た

だし、台風によるパネル破損があった期間(9/16-9/20)については各方法とも一律欠測扱いとした。設置した降雨計によるとパネル破損期間の雨量は80mmで、それを除く期間の雨量は114mmであった。なお、直近の鴻巣での気象庁気象記録では、パネル破損期間外の雨量は136mmであった<sup>11)</sup>。

##### 3.3.1 簡易蒸発計による観測結果

模擬パネルと裸地の簡易蒸発計による比較測定を行ったところ、裸地564gに対して模擬パネルで445gであった。上述の比0.15を用いるとそれぞれ、85mm、67mmとなり、模擬パネルでは蒸発量は21%減少した。

##### 3.3.2 自作ライシメーターによる観測結果

自作ライシメーターでは、裸地で79mm、模擬パネルで45mmの結果を得た。模擬パネルでは43%減少し、簡易蒸発計による結果と大きく異なった。ライシメーターに浸透した雨水は下段トロ舟に排水されるものの、土壌充填上段とともに、下段排水も計量して、その際捨ててカラにしないと下段トロ舟から溢れる事態になる。降雨後はなるべく計量作業を行うようにしたが、人手によるものなので常には対応できなかった。そのため、模擬パネルのライシメーターに降雨直後に給水できず、降雨時の湿潤状況をしばらく反映できなかった。また、裸地のライシメーターから雨水を排水できず、周辺土壌は乾燥しているにも関わらず、ライシメーターは湿潤状態であり乾燥状況をしばらく反映できなかった。実際の土壌の湿潤状況を模せなかった期間は短かったものの、計量・給水・排水等の自動化が必要である。

##### 3.3.3 熱収支観測結果

図3には9月のある晴天日における日射(S↓)、長波放射(L↓)、純放射各量の時間変化を示した。日中急上昇する裸地の日射量に対し、模擬パネルでのそれは10～20%程度である。一方、長波放射量は裸地・模擬パネルで大きな差はない。長波放射は日射と同様にパネル板での反射・吸収を受けていると思われるが、パネル板からは温度に応じて2次的な長波放射を生じているため、見かけ上パネルによる低下が少なくなっていると推測される。

図4には測定期間中の各放射成分の累積値の熱収支をまとめた。先述したように模擬パネルでの日射量の減少は大き

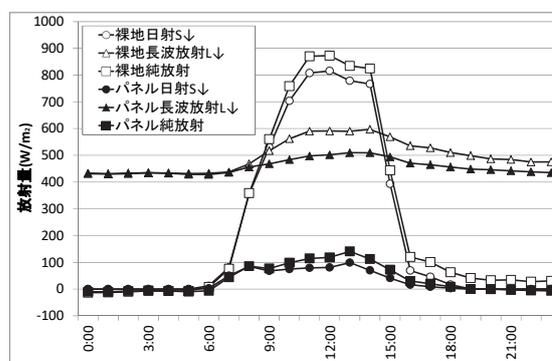


図3 裸地・模擬パネルの日射S↓・長波放射L↓・純放射各量の時間変化(2016/9/10)

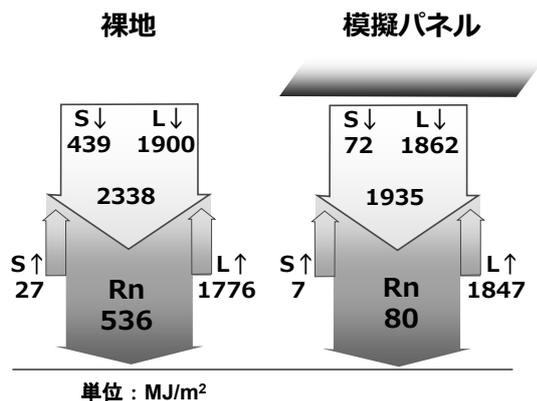


図4 裸地・模擬パネルの熱収支

いが、長波放射量の減少が小さく、結果として純放射量は85%減少していた。

### 3.3.4 熱収支・ボーエン比法による蒸発量推計

推計された蒸発量は裸地で100mm、模擬パネルで39mmとなった。ただし、10/14～10/17の裸地観測で、気温・湿度等ボーエン比を求めるために必要なデータが欠測し、蒸発量は計算できていない。裸地では $Q_n$  547MJ/m<sup>2</sup>に対して、顕熱は130MJ/m<sup>2</sup>、潜熱は244MJ/m<sup>2</sup>、残り173MJ/m<sup>2</sup>のうち、100MJ/m<sup>2</sup>が判定法による棄却分で、他は上述のデータ欠測分にあたる。100MJ/m<sup>2</sup>のうち60MJ/m<sup>2</sup>は蒸発量の多い昼間の欠測であり蒸発量推計に大きく影響する。一方、模擬パネルでは、 $Q_n$  96MJ/m<sup>2</sup>に対して、顕熱は-27MJ/m<sup>2</sup>、潜熱が96MJ/m<sup>2</sup>、判定法による棄却分が27MJ/m<sup>2</sup>である。棄却分全てが潜熱となる訳ではないが、欠測・棄却分があるため、過小推計となっていると思われる。なお、棄却分の割合は温湿度計位置変更により32%から25%と若干改善した。

裸地に関しては熱収支・ボーエン比法は実績のある方法であり、後日、ライシメーター直上でない土壌地面で測定したところデータ棄却問題は生じなかった。通常の実測方法であれば問題はなく、裸地によるデータ棄却問題については、ライシメーター直上という通常と異なる測定状況での観測であった事によると思われる。一方、プラダンと実際のソーラーパネルでは熱の持ち方が異なるため、実処分場のパネル下で熱収支・ボーエン比法を行う場合は、温湿度計の設置位置の再検討が必要である。それでもデータ棄却問題が発生する事が予想されるため、単独での観測は避け、異常値判定での欠測を他の観測方法で代替するなどの対応策も検討する必要がある。

### 3.3.5 各方法による蒸発量推計値の比較

表2には、各方法による蒸発量値を示した。ただし、簡易蒸発計が参照するパン式蒸発計は水面蒸発量であり、土壌表面からの蒸発とは異なる。また、熱収支・ボーエン比法では、

表2 裸地・模擬パネルにおける蒸発量

	裸地(mm)	模擬パネル(mm)
簡易蒸発計	85	67
ライシメーター	79	45
熱収支・ボーエン比法	100	39

表3 裸地・模擬パネルにおける蒸発量(比較用補正後)

	裸地(mm)	模擬パネル(mm)
簡易蒸発計	62	48
ライシメーター	73	41
熱収支・ボーエン比法	100	37

先述したように裸地の温湿度データに一時期欠測があり、裸地・模擬パネルともデータ棄却により、一部蒸発量の推計ができていない。比較のため、これら問題を改めたものが表3である。表3では、全方法で温湿度データの欠測時期を省き計算し直している。また、ライシメーターによる蒸発量値がパン蒸発計値の8割程度という観測例<sup>12,13)</sup>があるので、簡易蒸発計の項には、この割合を掛けて土壌表面蒸発量を推測している。ただし、熱収支・ボーエン比法における判定棄却分は復元できずそのままである。

いずれの方法でも模擬パネルでの蒸発量は減少していることから、遮光による蒸発量の減少が確認された。模擬パネルの方は、裸地ほどに差はなく約40mmである。簡易蒸発計の蒸発量はわずかに高いが、パン蒸発計との参照による換算係数など、変動し不確定な要素があり、信頼性が劣る。熱収支・ボーエン比法では、データ棄却分があり、実際の蒸発量は表の値より高い可能性があることから、ライシメーター値41mmが最も実際値に近いと推測される。異なる方法で計測された蒸発量が、ともに約40mmと互いに近い値を示していることから、ライシメーター法、熱収支・ボーエン比法等は、実処分場ソーラーパネル下の観測にも適用可能であると期待できる。

一方、裸地は方法による差が大きい。データ棄却がなければ、熱収支・ボーエン比法による推定値は100mmより高くなる可能性があり、差は更に大きくなる。筑波での観測事例における9・10月の蒸発量は、渦相関・熱収支法、ペンマン法、熱収支・ボーエン比法といった幾つかの方法によると、それぞれ147mm、106mm、100mmとなっている<sup>14)</sup>。観測年や観測地による変動もあると思われるが、表3では熱収支・ボーエン比法による推計値がこれらの値に近く、100mmが最も信頼性が高いと推測される。

以上のことから、裸地での蒸発量を100mm、模擬パネルでの蒸発量を41mmとすると、減少率は59%となる。今回の実験が、実処分場に設置されたソーラーパネルをどの程度模擬しているかという問題もあり、最終的には太陽光発電を導入している処分場での実測が必要となるが、実処分場でも、蒸発量はかなり減少している可能性がある。鴻巣の過去30年の気象記録では、降水量は平均で約1200mm程度であるが<sup>11)</sup>、年間の蒸発量を約600mmとすると<sup>14,15)</sup>、管理型埋立地では約600mmが浸出水または表流水となる。この時、蒸発量が59%減少すると、浸出水または表流水となる水量は954mmとなる。6割が浸出水になると考えると<sup>7)</sup>、浸出水量は360mmから572mmと60%増加することになり、浸出水への影響も無視できない。ただし、鴻巣の過去30年の気象記録でも、雨量は913～1818mmと変動しており、蒸発量減少の影響については、雨量変動と区別するのは困難と思われる。

## 4 まとめ

太陽光発電設備を導入した処分場において、ソーラーパネル設置により純放射量の減少・蒸発量減少という一次的影響に始まり、浸出水量増加等の二次的な影響が予想された。本報では、まず一次的な影響である、ソーラーパネル設置による純放射量・蒸発量への影響把握を試みた。ソーラーパネルのような構造物下については蒸発量を把握するための実績ある方法がないことから、実処分場での観測の事前として、幾つかの方法の適用可能性の検討・問題点の把握を含め、パネルを模擬した遮光設備を用いて純放射量・蒸発量の観測を行った。模擬パネルでの純放射量は裸地に比べて85%減少しており、その結果、測定期間中の模擬パネルでの蒸発量は約40mmであった。異なる方法による観測値がともに近似した値であったことから、今回用いた3方法(簡易蒸発計、ライシメーター、熱収支・ボーエン比法)は、実際の模擬パネルでの蒸発量を反映しており、実処分場へのソーラーパネル下の観測にも適用可能であると期待できる。比較観測の結果、裸地に比べて模擬パネルによる遮光下の蒸発量は59%減少した。この減少率から、実処分場へのソーラーパネル設置した場合の浸出水量への影響を試算したところ、60%増加が推測された。実験設備が実処分場での状況をどの程度模擬しているかという問題があるので、最終的には実処分場での観測が必要であり、本報で把握された各方法の問題点の検討を踏まえた上で、実処分場への観測を進めたい。

### 文献

- 1) 固定価格買取制度情報公開用ウェブサイト ([https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiene/statistics/index.html](https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/statistics/index.html)) (2019年6月3日閲覧)。
- 2) Aixue Hu, Samuel Levis, Gerald A. Meehl, Weiqing Han, Warren M. Washington, Keith W. Olson, Bas J. van Ruijven, Mingqiong He and Warren G. Strand (2015) Impact of solar panels on global climate, *Nature Climate Change*, 6, 290-294.
- 3) F.Salamanca, M.Georgescu, A. Mahalov, A. Moustouai, A. Martilli (2016) Citywide impacts of cool roof and rooftop solar photovoltaic deployment on near-surface air temperature and cooling energy demand, *Boundary-Layer Meteorology*, 161(1), 203-221.
- 4) 矢野友久(1989)蒸発散量の測定法, *農業土木学会誌*, 57(7), 623-628.
- 5) 桜谷哲夫(1985)蒸発散の測定法(V), *農業気象*, 40(4), 403-405.
- 6) 池口孝(1984)埋立地における浸出液の発生とその対策[その1], *都市と廃棄物*, 14(6), 13-29.
- 7) 全国都市清掃会議編(2001)廃棄物最終処分場整備の計画・設計要領.
- 8) 原口智和, 中野芳輔, 黒田正治, 廣田修(2000)ビニールハウス内の水消費環境特性, *農業土木学会論文集*, 2000, 633-639.
- 9) 黒瀬義孝(2008) ボーラスカップを利用した蒸発計の試作と蒸発パンとの比較, *日本農業気象学会全国大会講演要旨*, 2008, 48.
- 10) A. Ohmura (1982) Objective criteria for rejecting data for bowen ratio flux calculations, *Journal of Applied Meteorology*, 21, 595-598.
- 11) 気象庁ウェブサイト 各種データ・資料 (<https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>) (2019年6月3日閲覧)。
- 12) 古藤田一雄(1980)ライシメーター蒸発散とエネルギー収支法による蒸発散量の比較, *筑波大学水理実験センター*, (4), 1-9.
- 13) 桜谷哲也(1982)蒸発の測定法, *農業気象*, 37(4), 337-338.
- 14) 藪崎志穂, 田瀬則雄, 萩野谷成徳(2005)陸域環境研究センターにおける蒸発散量推定法の検討, *筑波大学陸域環境研究センター*, (6), 45-51.
- 15) 大槻恭一, 三野徹, 丸山利輔(1984)気象資料から推定したわが国の蒸発散量, 実蒸発散量推定に関する研究III, *農業土木学会論文集*, 112, 25-32.