

廃棄物埋立地の機能と新しい埋立システム —ミニマム・デポランドとインフォームド・コンセントのすすめ—

福岡大学工学部教授 松 藤 康 司

1. はじめに

廃棄物の処理処分は年々深刻化しており、環境問題の中でも重要課題の一つである。

わが国の廃棄物処理の主体は国土事情を反映して、焼却処理を中心としてこれまで進んできたが、ダイオキシンに代表される環境汚染微量物質問題がクローズアップし、これまでの処理処分システムは新たな局面を迎えている。こうした背景の下で、廃棄物の排出抑制・減量化・資源化及び再利用の促進を前提にした、廃棄物処理法が改正され、更にリサイクル法が成立されるなど社会システムも遅ればせながら、資源循環型社会へと動きつつある。しかし、最終処分場は人間の活動を支える重要な社会基盤施設であり、生活環境を守る上で、なくてはならない施設でもある。

こうした中で、21世紀の廃棄物埋立地の課題と展望について考えてみた。

2. 埋立廃棄物の変化

近年新しく建設される管理型の処分場は極めて近代的であり、投棄された生ごみから発生する浸出水や悪臭等が最大の関心事であった1960年代の処分場に比べ大きく様変わりをしている。これは、一般廃棄物、産業廃棄物を問わず、廃棄物の中間処理技術、特に、焼却処理が普及したことにより、処分場に搬入される廃棄物が不燃物主体へと変化しているためである。ちなみに、処分場に搬入される

一般廃棄物を例にして、年代別に可燃物・不燃物の重量割合をみてみよう。図1に示すように、1967年度においては、可燃物が47.8%と半数を占めていたものが、1992年度（福岡市）は不燃物と焼却残渣で97.6%を占め、処分場は不燃物主体へと移行し、その傾向は増加の一途をたどっている。

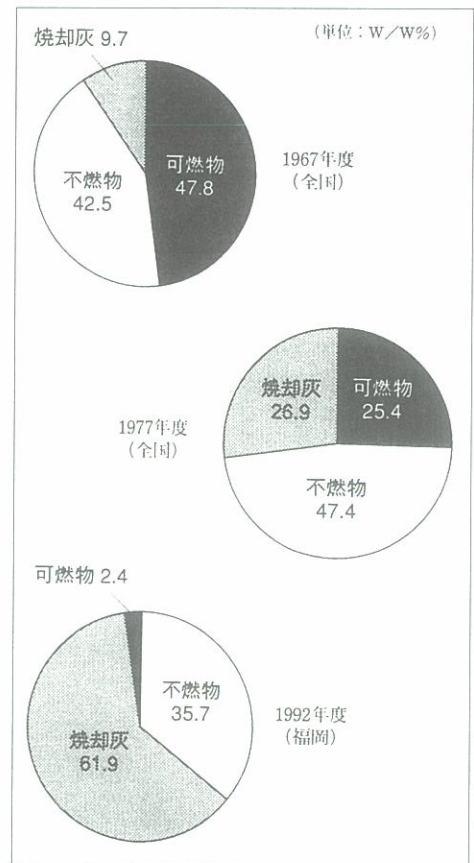


図1 埋立廃棄物質の変遷

周知のように、中間処理の大きな目標として、廃棄物の“減容化・無害化・安定化”があげられているが、この三つの目標は廃棄物の組成、特に有機物（生ごみ）に主眼が置かれていた時代は概ね支持されていた。しかし、昨今のダイオキシン等の環境微量汚染物質の生成という問題に対して、処分場の機能が十分であるか否かが議論になり、処分場問題は益々複雑となっているのである。

即ち、これまでBOD、COD、悪臭等に対応するため、処分場は、有機物の早期安定化を最大の課題として、処分場の浄化機能を最大限に発揮するための埋立構造、埋立工法に改良、工夫をこらす努力がなされてきた。しかし、昨今の処分場への機能として要求されている点は、“濃縮・再生成”された重金属や無機塩類そして未規制の有害物質に対しての機能の保証と安全性の担保である。そのレベルもppm (ng), ppt (pg) へと変化しているのが特徴である。

3. 処分場の機能と対応策の動向

廃棄物は量のみならず、質への対策期を迎え、処分場での対応技術も10年単位で見ると確実に前進している。例えば、処分場も「投棄場」から「浄化槽」としての機能も付加され、最近では、「貯留・保管・備蓄」機能も開発されつつある。浸出水の処理も中間処理の普及の下で「二次処理」から「三次処理」「高度処理」へと移行している。そして、しゃ水シートの破損問題や未規制の環境微量汚染物質が注目されて、ppt (pg) レベルでも対応できる処分場の技術開発が着手されつつあると言える。

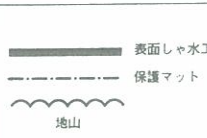

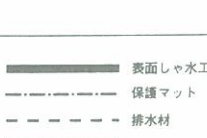
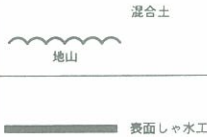

このため、従来の処分場としての機能に増して、各施設とも高度化し、さらに、周辺環

境整備やアメニティーを考慮した施設へと変遷している。当然のことながら、これに伴い、処分場を構成する施設も多様化し、建設費等も年々上昇している。ここで、参考までに著者らが行っているしゃ水工法や高塩類含有浸出水の処理の違いによる建設費等の調査結果についてその概要をみてみよう。

(1) しゃ水工法の構造的変化

処分場におけるしゃ水工法の課題は種々あ

表1 しゃ水工基本構造の検討

比較項目	しゃ水工基本構造概要					ケースAの概算工 事費に対する比率
	概要図	構造の概要	集約対策	その他	モニタリング	
A 表面しゃ水工		表面しゃ水工 保護マット 地山	各ケースとも、グラウト注入等を行う。	表面しゃ水工 貯留環境底部に鉛直しゃ水工	と兼用 地下水 集排水管	(1.0)
B 表面しゃ水工と 鉛直しゃ水工の 組合せ		表面しゃ水工 保護マット 地山	同上	同上	同上	(1.8)
C 表面しゃ水工と 混合土の組合せ		表面しゃ水工 保護マット 排水材 混合土 地山	注1を確実に「行う」ことによって、	シート下全面混合土	表面しゃ水工と混合土と 敷設機能を有する排水材を 集	(1.4)
D 表面しゃ水工と コンクリートの 組合せ		表面しゃ水工 保護マット 排水材 コンクリート 地山	地盤のしゃ水効果は十分高くなると考えられる	シート下全面コンクリート(一部)	表面しゃ水工とコンクリートとの間に保護マットと敷設機能を有する排水材を	(2.3)
E 二重ライナー		表面しゃ水工 保護マット 排水材 中間層 表面しゃ水工 保護マット 地山		全面に二重ライナー	表面しゃ水工と中間層と敷設機能を有する排水材を	(2.0)

るが、現時点では①地形、地質への適応性②漏水防止に対する信頼性③漏水時の対応④モニタリングによる漏水箇所の特異とその難易度⑤施工性⑥経済性等の検討を行って総合評価されている。しかし、この中でも、しゃ水シート破損事例を契機に上記の②③④が注目され、しゃ水性の确实性を向上させることが重要となり、構造も、また維持管理も益々複雑になる傾向にある。

これを反映して、表1に示すように従来のしゃ水工の概算工事費に対する新しいしゃ水構造の工事比率は増加しており、その比率は1.4～2.3になる可能性がある。昨今では、漏水検知システムの導入も実用化されており、さらに建設費、維持管理費の上昇が予想される。ここで、しゃ水工の目的と機能について改めて整理してみよう。

(2) しゃ水工の目的と機能

しゃ水工は、「埋立地の主要施設の一つであり、廃棄物の保有水または廃棄物の分解によって生じた分解水及び埋立層に流入した雨水等によって生じた浸出水が、埋立地から流出して周辺環境を悪化させ、生活環境の保全上支障とならないよう、流出を防止するために設ける」とされている。このため、しゃ水工は以下のような機能を有する必要がある。

- ①浸出水を埋立中はもとより、埋立終了後も周辺環境を悪化させると予測させる期間中は、埋立地外へ流出させない。
- ②浸出水量の削減を図るため、地下水等を埋立地内に流入させない。
- ③廃棄物の様々な予測できない性状にも十分にしゃ水を有することができる。
- ④埋立作業に支障とならない。
- ⑤跡地利用上障害とならない。

上記の要件を考える上で特に重要と言えるのは、水や浸出水の移動を左右する種々の要因をよく理解し、そして、この要因を埋立地の機能として具備できるように設計し、維持管理することであろう。

水の移動を示す代表的な考え方として、ダルシー則がある。ダルシーの式は、

$$Q = K \cdot A \cdot \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

と表される。これを埋立地で考えると、

Q：ある面積Aを通過する流量 [cm³/s]

A：浸出水が流出する面積 [cm²]

Δh：ある土層を通過する時の損失水頭 [cm]

Δl：土層の厚さ [cm]

K：透水係数 [cm/s]

この式から解くことは「しゃ水」対策としては、Qを許容値内に小さくすることを念頭において、各パラメータを考えることである。即ち、

①透水係数の小さい材料を使用して浸出水の移動を阻止する対策 (Kを小さくする)

②水頭差を生じさせないようにする対策 (Δhを小さくする)

③浸透層の厚さを長く取る対策 (Δlを大きくする)

実際のしゃ水工は、このうち①の透水係数[K]を小さくする対策を難透水性シート、難透水性粘土、止水コンクリート、止水矢板等を用いて行うか、あるいは、③に注目して浸透性の厚さ(Δl)を大きく取る対策と組み合わせで行う事である。②の対策は、埋立地内に浸出水をできるだけ貯留したり、滞留させないために、浸出水集排水施設によって迅速に浸出水を場外に排出し、処理することである。

これから、解るように、各パラメータが補完的な機能を有しており、これらがお互いに機能を十分発揮してこそ、しゃ水工の安全性が高まることを、ダルシー則は表現している。この外、ダルシー則の直接のパラメータになっていないが、侵入する雨水量を削減するために、ワーキングフェースを小さく維持しながら埋立したり、部分的にキャッピング（表面被覆）を行いながら埋め立てることによって、更に安全性が高まることを、ダルシー則は言っているのである。更に、浸出水中に含まれる汚濁物質によっては、埋立廃棄物や覆土、さらには埋立構造との組み合わせによって、分解、吸着されるものもあり、埋立地の有する「浄化能」や「マルチバリヤー」的機能を利用することも、しゃ水工の安全性を更に高める上で有効である。

即ち、埋立地のしゃ水工は、ダルシーの式に代表されるような、水の移動を十分理解してこそ、安全性は高まり、それを補完する一つのパラメータとして「しゃ水素材」があると言うこと、そして、埋立地内の浸透水量を削減し、かつ浸出水集配水管によって迅速に集配水し、系外に浸出水を排出し処理することが第一義でしゃ水シートの素材はその補完的役割を担っていることを理解することであ

ろう。上記のことは、浸出水の適正な管理の上でも極めて重要である。

(3) 浸出水処理システムの変化

廃棄物の減容に最も効果のある焼却処理が普及し、埋立廃棄物は無機物主体へと移行している。この結果、浸出水中にはカルシウムイオンや塩素イオンを主体とした無機塩類が高濃度含有され、浸出水処理施設や放流先への影響が実現化している。このため、多くの処分場は浸出水の高度処理が可能な方式へと移行し、生物、化学、物理化学併用の浸出水処理施設が一般的になりつつある。さらに山間埋立地（多くは山間部に処分場を有し放流先の利水条件が厳しい場合が多い）においては、カルシウムや塩素イオンの除去処理ができる施設が必要となっている。著者らが実施しているパイロットプラントによる研究結果から判断すると表2に示すように約2倍の建設費の上昇が予想されている。さらに、維持管理費も上昇するのは必至であろう。

このように、埋立廃棄物の変化に伴って検討されているしゃ水工法や浸出水処理システムの変化を考えてみただけでも、廃棄物の処理処分に必要な技術は高度化し、費用は上昇する方向にあり、山間部に立地し、利水条件

表2 処理方式別建設コスト相対比較表

処 理 フ ロ ー	除 去 対 策	相 対 コ ス ト	備 考
Bio+Coag	BOD、COD、SS	100	
Bio+Coag+FiL	BOD、COD、“SS”	105	“SS” 10mg/ℓ以下
Bio+Coag+FiL+AC	BOD、“COD”、“SS”	115	“COD” 20mg/ℓ以下
Bio (N) +Coag	BOD、COD、SS、“T-N”	140	“T-N” 10mg/ℓ以下
Bio (N) +Coag+FiL	BOD、COD、“SS”、“T-N”	145	
Bio (N) +Coag+FiL+AC	BOD、“COD”、“SS”、“T-N”	155	
RCa+Bio (N) +Coag+FiL+AC	“Ca”、BOD、COD、SS、T-N	170	“Ca” 100mg/ℓ以下
RCa+Bio (N) +Coag+FiL+AC+ED	“Cl”、Ca、BOD、COD、SS、T-N	195	“Cl” 500mg/ℓ以下

注) Bio : 生物処理法 (接触ばっ気法、回転円板法、活性汚泥処理法) AC : 活性炭吸着処理法
 Bio (N) : 生物学的脱窒処理法 ED : 脱塩処理法
 Coag : 凝集沈殿処理法 RCa : カルシウム除去法
 FiL : 砂濾過処理法

が厳しい処分場にとって、処分場問題は財政面と用地選定両面から今後ますます深刻になることが予想される。

次に、廃棄物の中間処理、特に焼却処理の普及によって予想される高塩濃度の浸出水について考えてみよう。

まず、焼却処理に伴う、排ガス処理(HCl, SO_x, NO_x)によって生じる無機塩類の増加は浸出水中の塩類問題として顕在化し、従来の浸出水処理技術に対して新たなシステムの導入を求める結果となっている。更に、近年導入される破碎選別施設から排出される破碎不燃物の増加は、それに混入する金属残渣も

加わって、浸出水の電気分解によるH₂の発生、電食による金属腐食、更には、Mg, SO_x, NO_x, HCl等によるコンクリートの腐蝕やFe, Mnの溶出等々の問題を生じさせる原因ともなっている。

また、昨今問題になっている焼却処理に伴う、ダイオキシンに代表される環境微量汚染物質生成問題を考えると、今後生じるであろう浸出水の問題点を整理すると図2のようである。

図からも明らかなように、最近の浸出水問題は、単に浸出水の高度処理技術の開発に留まらず、埋立地の構造、処理場建設に伴う材

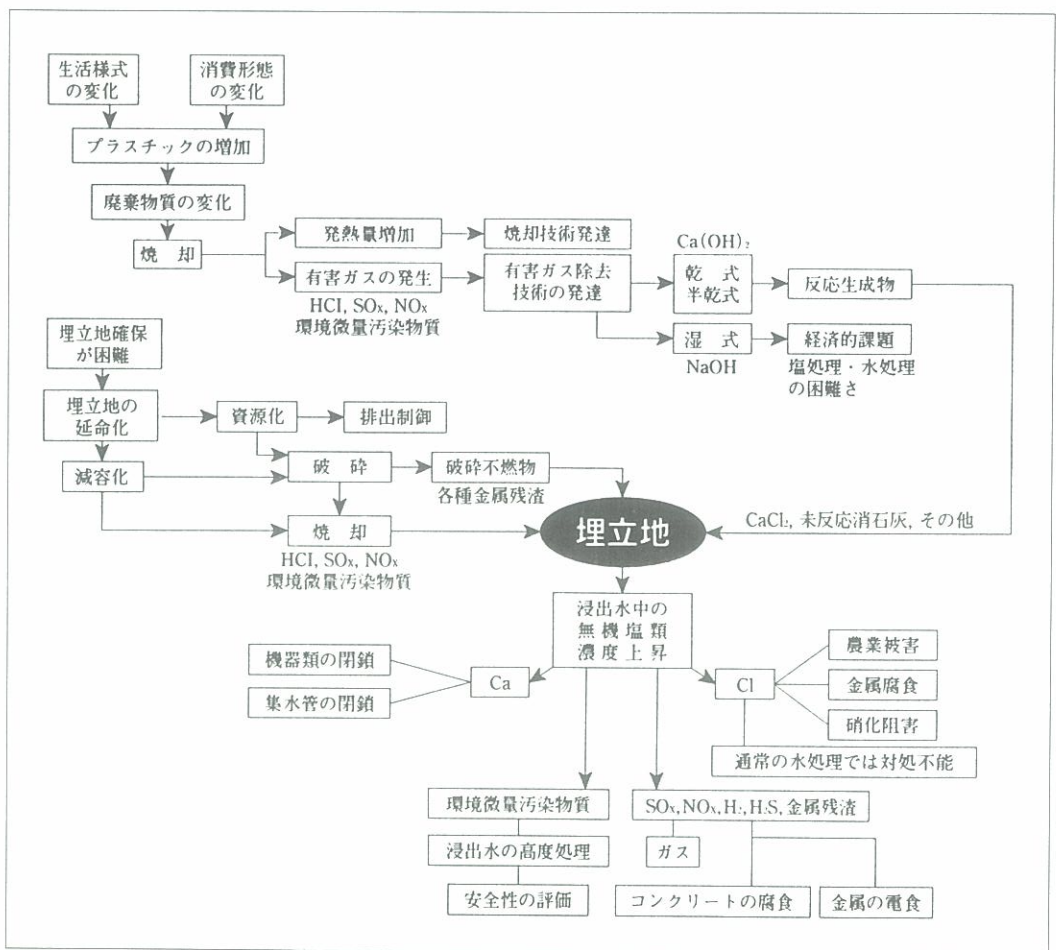


図2 浸出水の問題点

料、埋立方法、処分場の機能の拡大の必要性まで提起しているものといえる。

4. 廃棄物埋立地の機能とは？

廃棄物・中間処理・資源化そして最終処分場（埋立地）の関係は時代とともに変化している（図3参照）。特にわが国では焼却処理の普及によって、埋立廃棄物の質も不燃物・無機物主体へと移行しており、見方を変えれば、廃棄物埋立地は濃縮された種々の物質の貯留・保管・備蓄の場と見ることができる。

このため21世紀には、処理処分の歴史的な変遷（図4）を十分に念頭に置きつつ、廃棄物埋立地の機能を拡大する必要がある。即ち、廃棄物埋立地が持つ従来の「投棄場」「浄化槽」の機能に加え「貯留・保管・備蓄」の機能を

有する場として認知する必要がある。その前提としては田中信壽氏（北海道大学）が指摘する最終処分場の有する①不当な迷惑を排除する②廃棄物質に対する不安を解決する③廃棄物量に対する不信を解消する④埋立終了後の不安を解消するために、官・民・学・市民が連携して、情報公開を念頭に入れた体制と制度を確立する事が必要である。

いずれにしろ、埋め立てなければならない廃棄物量はゼロにならないと考え、①発生回避②ミニマイゼーションそして③長期モニタリングを前提として「貯留・保管・備蓄」機能を有する最終処分システムの開発と、廃棄物埋立地に対する社会の信頼関係の回復が急務である。

5. 21世紀に向けた廃棄物の最終処分

リサイクルは、廃棄物問題を軽減する一つ

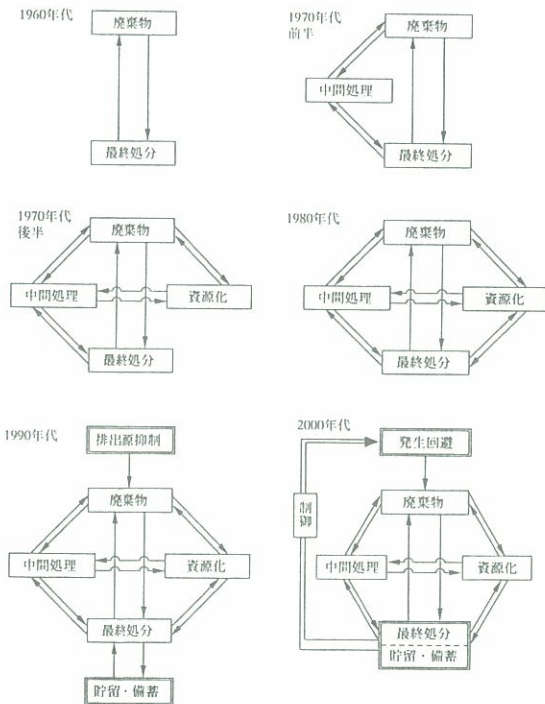


図3 廃棄物処理処分の変遷

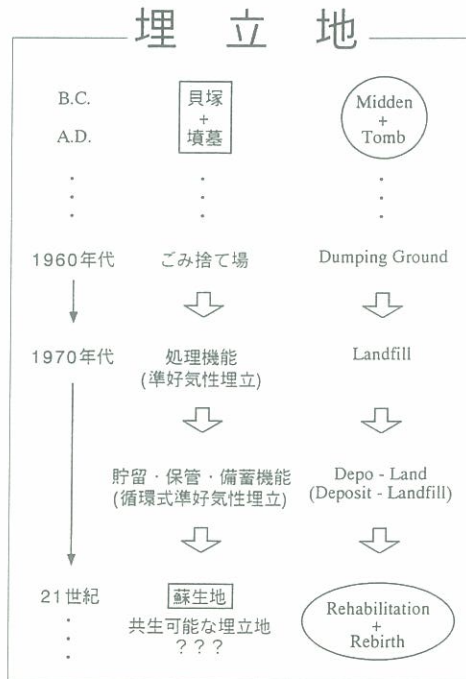


図4 埋立地の歴史的変遷

の方法であるが、「解決策」ではない。更に、資源の無いわが国が立国する限り、廃棄物量も確実に増え続け、かつ質的にも複雑になるのは必至である。こうした中では、21世紀に

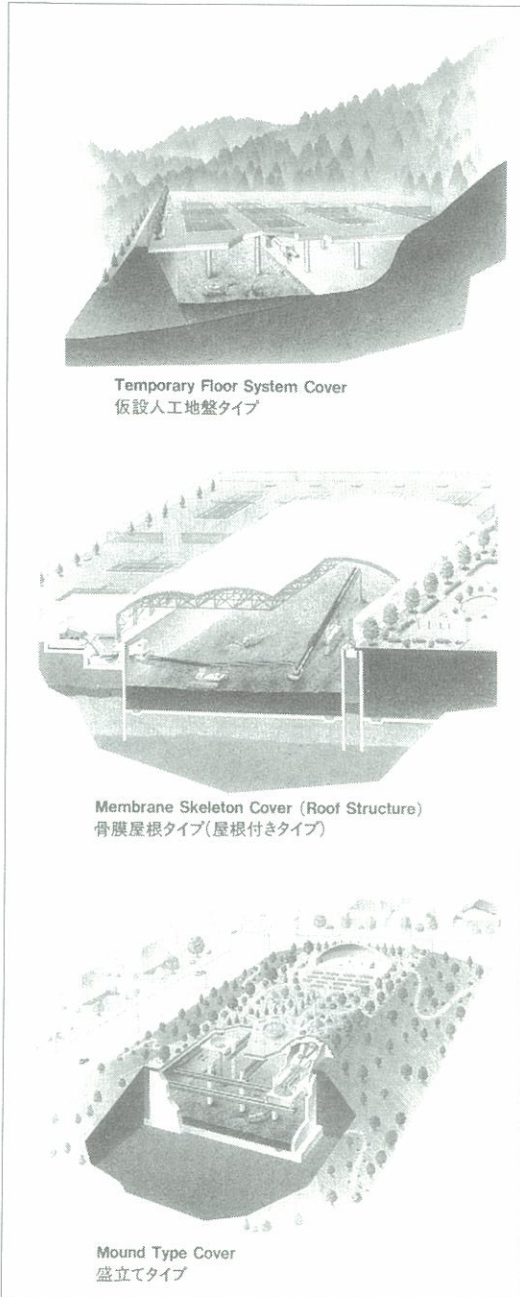


図5 貯留・保管・備蓄の機能

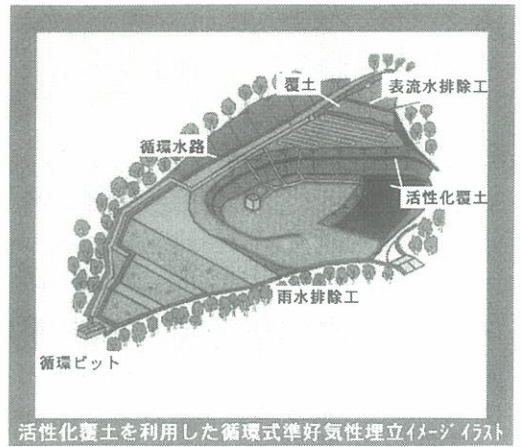


図6 デポ・ランド構想(部分)

向けた廃棄物の埋立地は技術だけではなく、国民の一人でも多くが、ごみや潜在的なごみ予備軍をよく観察して「自然に戻すべきか、再利用にまわすべきか、捨ててはならないものか、あるいは生産過程で制御すべきものか、また保存すべきか」の立場で「物を見る目とライフスタイルを身につけるシステム」づくりに積極的に取り組むことが重要である。その上で先に述べた「貯留・保管・備蓄の場」としての機能を受認する必要がある。このためにも、21世紀の最終処分システムとして「デポ・ランド (Depo - Land ; Deposit Landfill)」構想を提案したい。そして、変異原性試験等に代表されるバイオアッセイ (Bioassay) の手法を導入した廃棄物埋立地の周辺の長期モニタリングシステムの確立を図り、我々の地域特性にあった生活と共生できる新しい「ミニナム・デポ・ランド」を一日も早く創出し、リハビリステーションで蘇生させる技術が、今強く望まれている(図5および図6参照)。

6. 「デポ・ランド」が「蘇生する」ために
廃棄物埋立地に関する科学的な取り組みの

歴史は極めて浅い。考えてみると、30年前までは、ほとんど注目されなかった「ごみ捨て場」は空気が自然流入する準好気性埋立メカニズムの発見によって、あたかも「生命」を与えられたように活性化された。そして、浸出水を集め排水する管はまさに「血管」にも相当する機能を発揮し、埋立地は「生き物」となった。そして浸出水の循環ポンプの設置によって、埋立地は「心臓」を付加されたごとく「制御」が可能なシステムへと発展している。更に、活性化覆土の併用によって、老廃物を解毒する「腎臓」や「肝臓」を付加されたごとく、成長発展しようとしているかに見える。しかし、生き物である以上、限界があるのは言うまでもない。この埋立地の特性を十分に理解し、あまり無理をさせず、長寿を全うさせるためには、賢い「頭脳」が必要である（図7参照）。

残念ながら、研究歴史の浅い埋立地の分野においては、「頭脳」を埋立地に直接付加するまでに至っておらず、埋立地単独では自立できないため、遠隔操作に頼るしかない。即

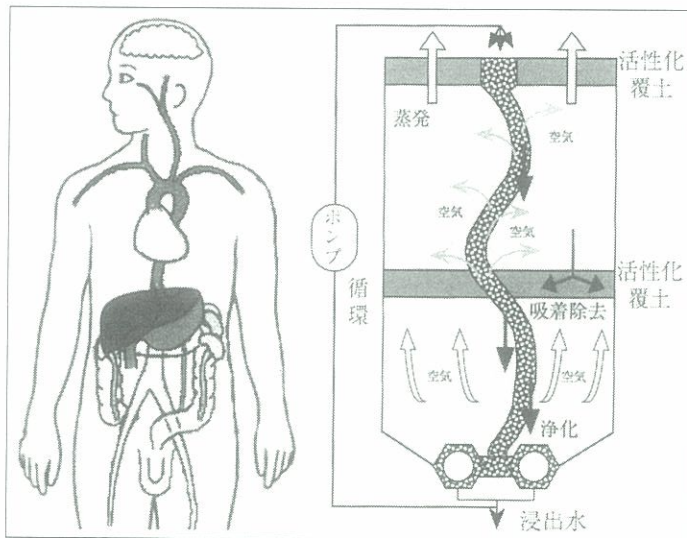


図7 人体のしくみと埋立地の機能

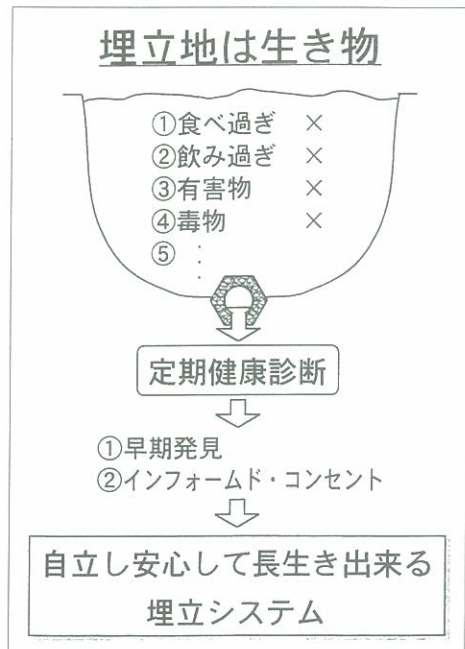


図8 「埋立地は生き物」とインフォームド・コンセント

ち、埋立地を利用する我々人間の埋立地に対しての「認識」と「維持管理」方法が最終的には、埋立地の機能と寿命を決定するのである。

21世紀は「寿命を終えた」埋立地そして、「生き物」となった埋立地の我々によるアフターケアの時代でもある。こうした中、「埋立地は生き物である」と認識すれば、①食べ過ぎや飲み過ぎ（量への対応）②有害物・毒物（質への対応）への対策や、官・民・学・市民各々の立場での役割もこれらの諸対策に対して、今よりは明確にできると考えられる。同時に、定期健康

診断（モニタリング）によって、埋立地の健康状態を把握しつつ、積極的に情報公開を行うことによって、インフォームド・チョイス、更にはインフォームド・ディシジョンへ一歩接近できるものと考えている。即ち、「インフォームド・コンセント」の概念を廃棄物埋立地にも導入する社会・環境システムの構築を創生することが新しい埋立システムにとって、そして、埋立地の信頼回復にとっても重要であると考えている（図8参照）。埋立地は「生き物」である。しかし、埋立地はハンディキャップを有しているが故に現在は、必ずしもその存在を十分理解されておらず、むしろ嫌われる存在となっている。

21世紀には、「ミニマム・デポ・ランド」が「蘇生する」技術的手法の開発と同時に『インフォームド・コンセント』に裏付けされた環

埋立地に馴染む インフォームド・コンセントとは？

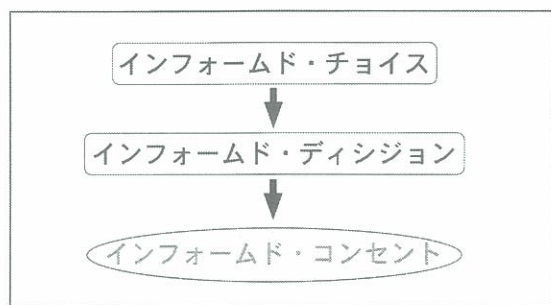


図9 埋立地に適したインフォームド・コンセントに向けて

境・社会システムの創生が益々必須になっていると考えている。今こそ、埋立地の信頼回復に向けて各専門家の役割は、益々大きいものと言えよう（図9参照）。