

(2) 廃棄物最終処分場のプランニングにおけるリスクアセスメント手法

RISK ASSESSMENT METHODOLOGY FOR PLANNING OF LANDFILL DISPOSAL SITE

古市 徹*、 田中 勝*
Tohru FURUICHI*, Masaru TANAKA*

ABSTRACT; This paper describes the necessity and feasibility of application of risk concept for planning of landfill site. Risk assessment procedure has not been adapted for planning of waste treatment and disposal facility in Japan. Moreover, CERCLA in U.S.A. requires the utilization of general risk assessment procedures for remedial actions of hazardous waste disposal sites but not planning of landfill site.

The purpose of this study is to develop the scientific and rational method of risk assessment for planning of landfill site, in order to improve the public health standard and to protect environment. Our developed risk assessment method is applied to a hypothetical problem as an example which deals with the selection of the best sealing method for leakage by using multiattribute decision analysis.

KEY WORDS; Risk Assessment, Planning, Landfill Site, Multiattribute Decision Analysis

1. はじめに

日本の廃棄物最終処分場のプランニングについてのガイドラインは、一般廃棄物については「廃棄物最終処分場指針」(〈社〉全都清, S62, 6, 改訂案)にその基本的考え方が述べられている。また、それに関連した環境アセスメントについては、「廃棄物の最終処分場に係る環境影響評価技術指針」(環境影響評価実施要綱(S59, 8, 閣議決定)に基づく)に必要な技術的事項が定められている。しかるに、近年とみに注目されている有害化学物質(廃棄物含有のトリクロロエチレン等、処理過程で生成されるダイオキシン等)や、重金属(水銀、カドミウム等)を含むかもしれない廃棄物が埋立処分されるときに、人の健康と環境へのリスクの評価と管理と言った視点から、最終処分場のプランニングのあり方についてはまだ規定されていない。一方、米国の CERCLA (Comprehensive Environmental, Response, Compensation, and Liability Act, 1980, スーパーファンド, 1986, 改正)は、過去及び現在のコントロールされていない有害廃棄物最終処分場によって引き起こされるリスクの評価・対策に関するものであり、将来のプランニングといった視点からのリスクアセスメントは行っていない。¹⁾

したがって、ここでは公衆衛生と環境保全に重点をおいて最終処分場を設計する場合に、リスクをプランニングの段階で考慮することの必要性と可能性について述べる。さらに、本研究ではその手段としてのリスクアセスメントを科学的・合理的に進めるための手法の開発を目指している。特に、埋立地周辺の地下水汚染の発現確率に影響を与えると考えられるしゃ水工の代替案の選択について、本研究のリスクアセスメント手法を仮想問題に適用して検討した結果について言及する。²⁾

* 国立公衆衛生院 The Institute of Public Health

2. 処分場のプランニングにおけるリスクアセスメントの考え方

八王子市戸吹町のごみ最終処分場で60年7月に、大堀川で藻が異常発生したことにより、汚水の漏出事故が発見された。同処分場は総工費32億円を投じて57年に完成したものであり、同様な管理型の処分場は全国で3000箇所以上あるが、漏出事故は極めてまれである。究明のため調査委員会が組織され、しゃ水ゴムシート(1.5mm)が軟弱な土の上に張られその上に異常な力が加わった為などの7つの原因があげられたが断定されるには到らず、調査・計画・設計・施工管理等と埋立作業管理計画の全体としての整合性が不十分であったと考えられた。³⁾ この事故が示唆することは、今後このような漏出事故が他の処分場でも起る可能性がないとは言えないこと、浸出液に有害物質が含まれていないという保証がないということである。

日本における一般廃棄物および産業廃棄物の最終処分場に関する規制は、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」の中で総理府令、厚生省令によってなされている。一方、米国における規制については、RCRA(Resource Conservation and Recovery Act, 1976, 改正1984)に制定されている。しかし、リスクアセスメントの観点から有害物質を規制するということとはなされていない。廃棄物処理に関連したリスク及びリスクアセスメントの定義及び考え方については、昨年の環境問題シンポジウムにおいて述べた。⁴⁾ ここでは、有害化学物質等の主要な移行経路の1つとして最終処分場をとらえ、ここで如何にリスクを低減させ人の健康と環境へのインパクトを小さくできるかということを考える。具体的には、リスクは影響値と発現(暴露)確率の関数であるから、⁵⁾ ①処分場に入ってくる有害性の大きい物質を優先的にカットしていくことと、②処分場から環境へ漏出する確率を小さくしてやる必要がある。

表1 各種ばく露シナリオに対するばく露アセスメント情報必要項目¹²⁾

ばく露シナリオ	発生源	運命	集団特性	測定
職業(化学品生産)	現場/プラントの場所、プラント/現場での物質収支	物理的および化学的性質モデル	作業員、家族、現場/プラント周辺の住民	プラント/現場での放出、現場/プラント周りの環境レベル、ヒトの用量測定
消費者(化学品の直接的使用または不注意な使用)	製品の消費率、流通パターン量	物理的および化学的性質、在庫寿命放出率、モデル	消費者	製品からの放出レベル
輸送/貯蔵/漏洩	流通と輸送のパターン、漏洩に関するモデル	物質的および化学的性質、環境運命モデル	貯蔵輸送関係作業員、地域の一般住民	放出、環境レベル
廃棄(焼却、埋立てを含む)	廃棄方法周りの物質収支、効率、環境への放出	廃棄プロセスでの運命、放出物の環境運命、モデル	廃棄現場の作業員、同現場周辺の一般住民	放出、プロセス内の様々な箇所でのレベル、環境レベル
食品	食物連鎖、包装添加物	食物連鎖モデル、食品の製造または加工中の運命	一般住民、ヒト以外の集団	食品および飼料中のレベル、食物連鎖サンプリング
飲料水	地下水、地表水、配水システム	配管からの漏出事、塩素処理プロセス、水中での運命、モデル	一般住民	飲料水、地下水、地表水、処理プラント中のレベル
環境	環境中への放出、大気、土壌、水	環境運命モデル	一般住民、ヒト以外の集団	環境大気、水、土壌など；ヒトの用量測定

まず、①について考える。人間活動によって生じた排ガス、排水中の有害物質（これらは処理プロセスを通して大部分は廃棄物側に移る）、有害廃棄物については、いずれ最終的には廃棄物として処分される。したがって製品段階からの有害化学物質の管理と、最終処分場に入ってくる有害化学物質のスクリーニングを行うチェック機構について考える必要がある。有害化学物質のリスク評価の必要性は、対象物質の数が非常に多い、微量でも深刻な被害を招く可能性が大きい、製造、流通、使用、廃棄の実態が十分に明かではない、環境汚染の防止やその回復が困難であるなどが考えられる。⁶⁾ 有害化学物質の管理については、問題の未然防止のために、化学物質全般について安全性評価を行う必要がある。このような方向で、日本では化審法（1986 改正）があり、事前審査制度の充実と事後管理制度の導入が計られ、化学物質のリスクの序列化がなされる。⁷⁾ また、西ヨーロッパでは OECD の MPD (Minimum Premarketing Sets of Data, 1983)によって Priority Setting のプロセスが示されている。OECDの指針は、優先化学物質の選定スキームと選定に用いる情報項目（選定要素）からなり、この2つを組み合わせる選定を行っている。⁸⁾ このように製品段階での管理は、クロスメディア汚染の対策にとっても重要である。⁹⁾ また、処分場に入ってくる有害化学物質のスクリーニングにおいては、事前に安全性を保証するためのソフト面でのシステムの確立と、搬入時に受け入れ基準に適合するかを迅速に識別・検知できるハード面でのシステムの開発が必要であろう。¹⁰⁾ さらに有害物質のリスクのレベルの分類と、それに応じた処分場のクラスの分類という考え方も有効であろう。¹¹⁾

表2 5つの政策選択の利点と欠点¹⁵⁾

	利 点	欠 点
I. 現行プログラムの継続	- 安定した現行プログラムと既に投資された資源の利用 - 改善された州の参加の改善 - 適度な民間及び公共部門の短期コスト	- 公衆衛生及び環境の保護が、可能で望ましいものに達しないかもしれない。 - リスクやコストが、不必要に将来に転嫁されるかもしれない - 埋立処分が依然として広範囲に利用される
II. より包括的で全国的に一貫したRCRAプログラム	- 改善される健康及び環境の保護と全国的な一貫性の促進 - コントロールされる有害廃棄物の増加 - データ・ベースの改善	- 民間及び公共部門の短期コストの増大 - 財源供給が増大しなければ、現行プログラムの進歩が鈍る可能性がある - 技術的蓄積やデータが不十分かもしれない
III. 埋立処分の代替方法に対する経済的インセンティブ	- 廃棄物削減及び処理の促進 - 保護の改善に必要なコストのより公平な分配 - 公衆の処分地に対する不安の緩和	- 産業界の短期コストの増大 - 企業、コミュニティ、国際競争に対する影響が不明確 - 不法投棄の増加可能性
IV. 危険分類枠組みの開発と可能な利用	- 巻き起こす危険に合致した水準で規制される廃棄物の増加 - 将来に転嫁されるリスク及びコストの削減 - 州プログラムに対する技術的支えの改善	- データ・ベースを改善するのに主要な努力が必要 - 不必要な複雑さが生じるかもしれない - 履行のための長期コストが不明確
V. プログラムの一層の統合のための計画作成	- 取り締まり適用範囲のギャップ、重複、矛盾の減少 - リスク及びコストの将来への転嫁の削減 - 公衆の連邦プログラムに対する信頼の向上	- 行政及び制度上かなり困難 - 進行中のプログラムの中断可能性 - 必要な立法上の変更に関する議会の行動が複雑であるかもしれない

資料：OTA

次に、②について考える。有害化学物質が処分場から環境へ漏出する確率を小さくすることは、処分場の浸出液のしゃ水の為の計画・設計の問題と、人及び環境への暴露評価（EA, Exposure Assessment）の問題とに関連する。前者については本論文の3、4において詳述する。後者のEAについてはU.S.EPAの暴露推定のためのガイドライン¹²⁾にその考え方が記されている。このガイドラインの目的は、EAの解析をEPAが運用している諸法令で定められている政策及び手順に沿って手引することである。（米国の国立科学アカデミー（NAS）の報告書¹³⁾において勧告されたことにEPAが答えたもので、リスクアセスメントの一貫性と技術的質を保証し、リスクアセスメントプロセスをリスクマネジメントから分離した科学的成果として維持することを保証するためのものである。）ガイドライン中の暴露シナリオの一

リスクマネジメントおよびコスト・便益の分析の観点から、連邦政府の有害廃棄物管理プログラムを検討したものとして、米国の OTA (Office of Technology Assessment) が連邦議会へ 1983 年に提出した報告書がある。¹⁵⁾ この報告書では、RCRA の評価も含めて 5 つの政策選択が検討されており、それらの利点と欠点を表-2 に示している。この報告書は RCRA 及び CERCLA の改正に影響を与えたものと考えられるが、リスクマネジメントに重点をおいて政策論的に議論が展開されている。したがって、RCRA のもとでリスクの概念を積極的に用いて規制して行くこと、例えば最終処分場のブランニングに当ってリスクアセスメントの技術的側面は如何にあるべきかと言ったことは明確にされていない。

3. リスクアセスメントの方法について

既存のリスクアセスメント手法を踏まえて新たなリスクアセスメント手法を開発した。この方法をフローチャートに示すと図-1のようになる。この図に従い本リスクアセスメントの方法をステップごとに説明する。

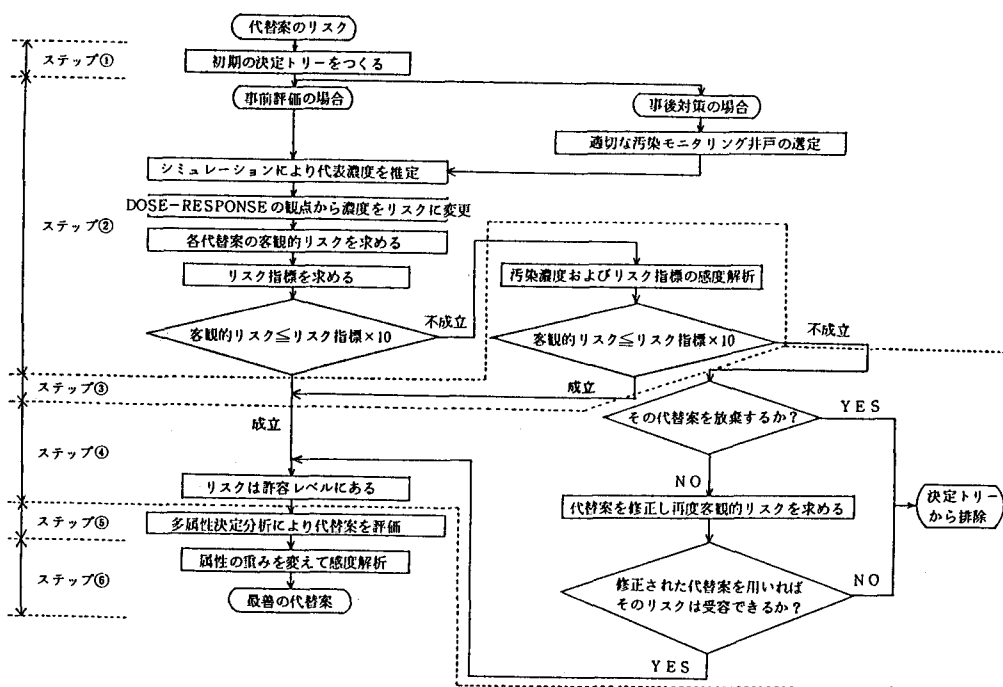


図-1 本研究のリスクアセスメントのフローチャート

(1) ステップ①……本方法では最後に多属性決定分析を行うために、あらかじめ初期の決定トリーを作っておく。¹⁶⁾ それにはまず、幾つかの可能な代替案を決め、そしてその代替案をとった場合に起こりうる発生事象を決め、その確率(結合確率)を求めておく。

(2) ステップ②……このステップはリスクアナリシスであるが、事後対策の場合と事前評価の場合とでそれは異なる。

a. 事後対策の場合……事後対策を全く行わない場合と、ある事後対策(代替案)を行った場合の代表位置での汚染濃度をシミュレーションによりあらかじめ求めておき、それらの値を比較してその代替案をとった時の汚染濃度低減率を求めておく。そして処分場の周りにおける適切な位置のモニタリング井戸で汚染濃度をサンプリングし、その値に先ほど求めた汚染濃度低減率を掛けることにより、その代替案を用いた場合の代表汚染濃度を求める。

b. 事前評価の場合……その代替案を取った場合の地下水中の代表位置での汚染濃度をシミュレーションにより求める。そしてそれらの値を各代替案の代表濃度とする。以上で求めた代表濃度を、例えば U.S. EPA の定めた 10^{-6} のリスクをもつ有害化学物質の汚染濃度と比較し、リスク値を比例計算により求めてそれぞれの代替案のリスクとする。¹⁷⁾ (客観的リスク) またリスク指標(=絶対リスク×比例因子×割引比例因子×制御因子)は Rowe の方法⁵⁾と同様に求める。この指標は社会的価値判断により決定される。ただし、制御因子(=制御アプローチ×制御度合×実施状況×制御効果)を求めるための制御アプローチについては、その代替案を信頼性・操作維持性・安全性・許容リスクレベル・周辺への影響等によって評価し、制御度合、実施状況、制御効果等は適切な値を与える。以上の方法で求めた客観的リスクとリスク指標を比較し、判定基準を満足すればその代替案のリスクは受け入れられるとする。10をかけているのは、一種の安全率の考え方からである。

(3) ステップ③……ステップ②で受容リスクレベルを満足できなかった代替案について、感度解析をする。これは客観的リスクとリスク指標の、両者の値の不確定性を考慮して行われるものである。実際には、客観的リスクについては代表濃度を50%上下させ、リスク指標についてはその値を1桁上下させて幅をもたせて感度解析的に評価する。

(4) ステップ④……ここではまず最初に、ステップ③で受容リスクレベルを満足しなかった代替案の中で、修正をする価値のある代替案を選び出す。そしてさらにその修正された代替案による客観的リスクを再度求め、それが、判定基準を満たせばその修正された代替案は受容できると考える。このステップ④までで受容リスクレベルを満足する代替案は全て選択され、これ以外の代替案は決定トリーから排除される。

(5) ステップ⑤……受容リスクレベルを満足した全ての代替案の中で、最善の代替案を多属性決定分析を使って求める。それにはまず、互いに選好独立の属性を幾つか選び出し、その各々の代替案ごとの属性値を効用関数を用いて選好率に変換する。次にいま求めた選好率を加重平均し、さらにこの値にステップ①で決めておいた結合確率を掛け、多属性効用関数の期待値を求める。そしてこの期待値の最も大きい代替案が最善の代替案と考えられる。

(6) ステップ⑥……重み係数を50%変化させて代替案の優劣関係がどう変わるか調べる。

4. 仮想問題への適用例

上述した方法を、埋立地のしゃ水構造物の事前評価に関する仮想問題に適用して検討する。なおここでは、属性の1つとして取り上げた作業期間等のデータが手に入らなかったため、粘土しゃ水、シートライ

ナー等の作業期間等をX、Yとおいて考えることにする。

(1) 問題設定……処分場の大きさ：100m×100m、埋め立てられる有害化学物質：

Tetrachloroethyleneのみで濃度は2.00[$\mu\text{g/l}$]、評価代替案：①なにもしない、②粘土バリア、③シートライナー、④粘土バリアとシートライナーを併用、選好指標：リスク、コスト、作業期間とする。

(2) 初期の決定トリーをつくる(ステップ①)……決定トリーは図-2のようになる。

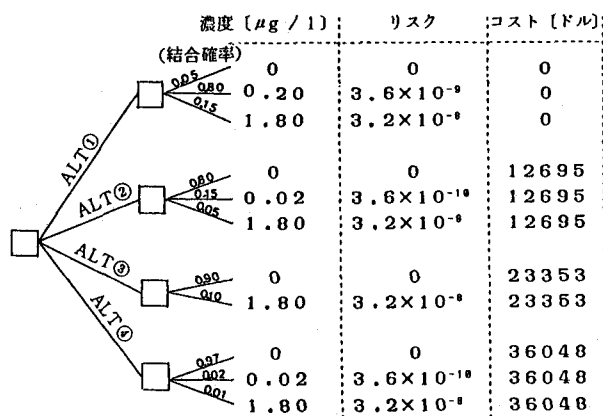


図-2 初期の決定トリー

表-3 客観的リスクとリスク指標の比較

代替案	客観的リスク	リスク指標
①	0 3.6×10^{-9} 3.2×10^{-8}	5.0×10^{-12}
②	0 3.6×10^{-10} 3.2×10^{-8}	4.5×10^{-9}
③	0 3.2×10^{-9}	3.5×10^{-8}
④	0 3.6×10^{-10} 3.2×10^{-8}	5.0×10^{-1}

(3) リスクアナリシスをする(ステップ②)……

Tetrachloroethylene が 10^{-6} のリスクを持つ時の汚染濃度は0.8 [$\mu\text{g/l}$]である。

よって各々の発生事象の客観的リスクは表-3のようになる。またリスク指標についても表-3のように求まる。この表より代替案2、3、4が受容リスクレベルを満足していることがわかる。

(4) 感度解析をする(ステップ③)……ステップ②

で受容リスクレベルを満足できなかった代替案1について感度解析を表-4のようにした。この表をみると両者のリスクが重なっている範囲がないため、代替案1は感度解析を行っても受容リスクレベルを満足しない。

(5) 代替案の修正(ステップ④)……表-4より代替案1は感度解析をしても受け入れられなく、

また修正しても意味がないため決定トリーから排除される。

(6) 多属性決定分析をする(ステップ⑤)……効用

関数の一例として、リスクについては図-3に示している。なお作業期間等はデータがないため、これに関する粘土バリア、シートライナーの各々の選好率をx、yとした。属性の重み付

表-4 代替案①の感度解析

代替案	客観的リスク	リスク指標
①	0 $1.8 \times 10^{-9} \sim 5.4 \times 10^{-9}$ $1.6 \times 10^{-9} \sim 4.8 \times 10^{-9}$	$5.0 \times 10^{-12} \sim 5.0 \times 10^{-10}$

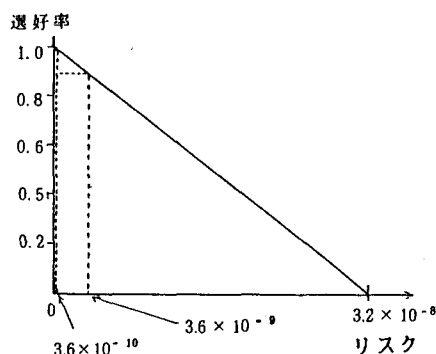


図-3 リスクの効用関数

けはリスク：0.55、コスト：0.25、作業期間等：0.20とした。最終の多属性決定トリーは図-4のようになる。



図-4 最終の多属性決定トリー

(7) 属性の重みを変えて感度解析をする。(ステップ⑥) ……作業期間等の選好率を x 、 y とおいたため、ここでの感度解析は省略する。

代替案の優劣比較の一例として、 x 、 y の違いによる代替案2、3の比較を図-5に、代替案2、4の比較を図-6に示している。

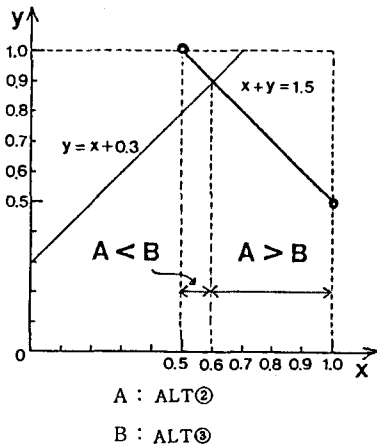


図-5 代替案 ②、③の優劣比較

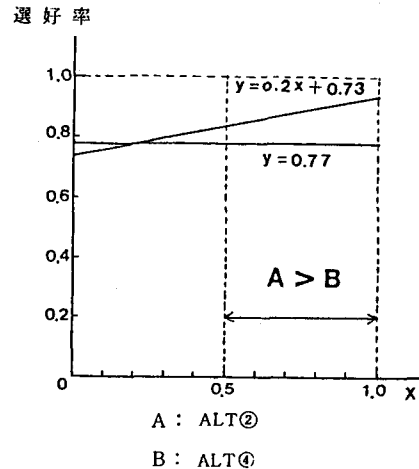


図-6 代替案 ②、④の優劣比較

5. おわりに

最終処分場のプランニングにリスクアセスメントの考え方を導入することの必要性和可能性について述べた。そして、仮想問題に本研究のリスクアセスメント手法を適用して次のような知見がえられた。

1) 廃棄物中の有害物質を含む漏出液が、埋立処分場周辺の地下水に与える環境影響を評価する手法として、リスクアセスメント手法を検討した。本研究で開発した手法を仮想問題に適用することによって、汚染防御代替案の環境影響評価にリスクアセスメント手法が有効であることがわかった。しかしながら、各代替案の結合確率、コストデータ、リスク等には不確定な要素が多いため、ここでの仮想問題への適用例における優劣比較は、本手法の手順理解の参考程度と解すべきであろう。

2) 問題中では選好指標としてリスク、コスト、作業期間等を選んだが、この作業期間等の項目にはそ

のケースごとに適切と考えられる指標を選ぶこともできる。例えば、処分場の立地条件（地質、地形、地下水付存状態、等）が考えられる。また、ステップ⑤の効用関数や重み係数のとり方は代替案選択に大きな影響を与えるため慎重に決める必要がある。住民へのアンケート調査等により、住民の声を反映し合意形成がしやすい値を決めるのが現実的な方法であろう。

この分野では正解とか間違いとか言う結論は存在せず、リスクに対するよりよき理解のための道程と、実例を通してテストされるべき科学的、合理的な方法があるだけである。このような観点からは、リスクの評価は実際への適用を踏まえて常に改良されなければならない性質のものと考えられる。

最後に、有益な資料を提供していただいた国立公衆衛生院の池口孝氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) OTA(1985) : Superfund Strategy, Washington, D.C., OTA-ITE-252.
- 2) 古市 他(1987) : リスクアセスメント手法の開発－廃棄物埋立処分場周辺の地下水汚染への適用、土木学会第42回年次学術講演会講演概要集
- 3) 八王子市戸吹最終処分場汚水流出事故調査委員会(1987) : 同委員会報告書
- 4) 田中、古市(1986) : 廃棄物処理におけるリスクマネジメント、土木学会第14回環境問題シンポジウム講演論文集、118-125.
- 5) Rowe, W.(1977) : An Anatomy of Risk, John Wiley & Sons, New York.
- 6) 中杉(1986) : 統計モデルを用いた優先化学物質選択手法、土木学会第14回環境問題シンポジウム講演論文集、106-111.
- 7) 盛岡、東海(1987) : 化学物質の環境リスク評価のための運命予測モデルの適用、土木学会衛生工学研究論文集、115-124.
- 8) OECD(1986) : Existing Chemicals-Systematic Investigation, Priority Setting and Chemicals Reviews.
- 9) 渡辺(1987) : 化学物質対策の国際的動向、第11回日本水質汚濁研究協会セミナー（化学物質への新しい視点）講演資料集、74-85.
- 10) 田中、河村(1984) : 最終処分場における廃棄物受入管理に関する研究、土木学会第12回環境問題シンポジウム講演論文集、137-143.
- 11) OTA(1983) : Technologies and Management Strategies for Hazardous Waste Control.
- 12) EPA(1986) : Guidelines for Exposure Assessment, Part VI, Federal Register, Vol. 51, No.185.
- 13) National Research Council(1983) : Risk Assessment in the Federal Government : Managing the Process, National Academy Press, Washington, D.C..
- 14) OECD(1987) : Report of the Workshop on Practical Approaches for the Assessment of Environmental Exposure.
- 15) 植田、後藤(1985) : 有害廃棄物コントロールのための技術と管理戦略、都市清掃、Vol.38, No.146- No.148.
- 16) Shih, C.S. and T. Ess(1982) : Multiattribute Decision-Making Imbedded with Risk Assessment for Uncontrolled Hazardous Waste Sites, Proc. of the National Conference on Management of Uncontrolled Hazardous Waste Sites, Hazardous Materials Control Research Institute, Silver Spring, Maryland, 408-413.
- 17) Partridge, L.J.(1984) : The Application of Quantitative Risk Assessment to Assist in Selecting Cost-Effective Remedial Alternatives, *ibid.*, 290-299.