

(23) 地下水汚染リスクを考慮した最終処分場の立地選定手法

DEVELOPMENT OF RISK ASSESSMENT METHOD FOR SELECTION OF LANDFILL
DISPOSAL SITE CONSIDERING THE GROUNDWATER POLLUTION

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

ABSTRACT: As the landfill site can be considered to be one of the critical pathways of hazardous substances, it should play a final safety barrier to both health and environment risk. But risk concept and risk assessment procedure have not been adapted for planning of landfill sites. The purpose of this study is to develop the scientific and rational risk assessment method considering the groundwater pollution in the stage of site selection which is a part of landfill planning. The proposed method is partly supported by the AHP (Analytic Hierarchy Process) for multiobjective evaluation and applied to a hypothetical problem. It is proved that this method can be sufficiently applied to practical problems and shows the possibility of rational site selection. The problem of site selection is treated as one of multi-objective decision making problems by using the AHP and therefore the evaluation factors such as risk, economical factor, cultural and psychological factor, natural environmental factor and so on can be integrated. Before this method is applied, a preliminary screening method for rough selection of landfill sites is also demonstrated.

KEYWORDS: risk assessment, groundwater pollution, site selection, planning,
Analytic Hierarchy Process.

1. はじめに

廃棄物最終処分場は、有害化学物質等の主要な移行経路であるから、人及び環境への最終的なバリアーとして機能すべきである。米国では、CERCLA (Comprehensive Environmental, Response, Compensation and Liability Act, 1980, 別名スーパーファンド、1986年に改正) のもとで、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土壌・地下水汚染のリスクアセスメントのために、HRS (Hazard Ranking System) やmHRS (modified Hazard Ranking System)、また最近では、RAPS (Remedial Action Priority System) を使用し、修復すべき最終処分場をリストアップしてきた。^{1), 2)} しかしながら、最終処分場の立地選定やシャ水工の設計等と言った将来のプランニングの視点からのリスクアセスメントは行われてはいない。プランニングの視点からのリスクアセスメント手法を開発し、シャ水工の代替案の選択問題に適用した例については既に発表した。³⁾

したがって本研究では、最終処分場のプランニングの段階での立地選定において、地下水汚染を考慮し

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

たリスクアセスメント手法を開発することを目的とした。本手法は多目的評価のためにAHP (Analytic Hierarchy Process) を援用しており、仮想問題に適用して、現実の問題にも十分適用可能であり、立地選定作業を合理的に行えることが示せた。AHPの方法により立地選定を多目的意思決定の問題として定式化し、リスク、経済的要因、文化・心理的要因、自然環境的要因等の評価指標を考え、それらを総合化できることがわかった。

また、本手法を適用する前段階として、処分場候補地の絞り込みを行うためのスクリーニング方法についても検討した。

2. 立地選定手法について

2.1 地下水汚染と立地選定

米国では、廃棄物最終処分場起因する様々な有害化学物質による地下水汚染が全国的な規模で見いだされているが、日本においては最終処分場起因する汚染は、例えば八王子市戸吹町の最終処分場からの汚染のような単発的なものしか知られていない。³⁾しかし、日本でも最終処分場が地下水汚染の最も可能性の高い汚染源の1つになりうると考えられる。廃棄物の処分により土壤中に保持された汚染物質は降雨によって溶出され不飽和地帯を落下し、帯水層へ至る。地下水帯水層へ進入した汚染物質は、主として地下水の流れに乗って拡散していくと考えられる。このため、汚染は地下水の流動方向に向かってブリューム状に広がっていくと考えられる。地下水は、生活用水として現在でも多くの人々によって利用されており、最終処分場が汚染源となりうる地下水汚染は将来、全国規模で見いだされ、大きな社会問題となることは十分考えられる。

最終処分場の立地選定は、従来の処理処分計画においては、最終処分場事業実施計画の中の1つである。最終処分場は、とかく迷惑施設として考えられがちであるので、地域住民に対して十分な理解を得よう努める必要がある。したがって、最終処分場や周辺地域の環境保全に十分配慮し、最終処分場の管理、跡地の利用について、明確な計画を示すことが必要である。処分場を設置するときの最も重要な要件は、適正な用地の確保である。埋立処分は、廃棄物の無用な拡散や流出を避けるために、限られた場所を区切って貯留構造物を造成し、廃棄物で埋め立てて貯留し、より効率的に年月をかけて自然に戻そうとするものである。したがって、これに耐えうる場所でないといけない。また、収集、運搬の効率、周辺の条件、災害に対する安全性、建設コスト、処分コスト、各種の関係法規などを考慮して決定するのが望ましい。

従来の最終処分場の立地選定においては、地下水汚染への配慮が比較的少なかったように思われる。最終処分場からの地下水汚染が、環境へ与えるインパクトの重大さ及びその可能性の大きいことを考えると、立地選定の段階で地下水汚染のリスクを評価しておくことが必要である。最終処分場を建設するとき、ほとんどの場合地下水への有害物質の漏出を防ぐためにシャ土工を施さねばならないが、シャ土工には様々な方法があり、シャ土工のコストは処分場建設地の立地条件によって大きく変わってくる。粘土によるシャ土工の場合は大量の粘土を他から確保しなければならない。また、シャ土工はシャ水材自身のみでその機能を発揮するものではなく、種々の付帯設備により正常な機能を発揮する。したがって、建設材の輸送コスト、シャ水材コスト、覆土材コスト、付帯工事、シャ土工設置による埋立容量の変化、工事期間等のトータルコストによって処分場の優劣が比較される。⁴⁾

以上のように、立地選定を行うには、地下水汚染を考慮してリスクやコスト等の影響についても言及しておく必要がある

2.2 本研究の候補地選定方法

本研究の方法は、表-1に示すような3段階のスクリーニングによって処分場候補地の絞り込みを行い、最後に絞り込んだ複数処分場候補地に対して地下水汚染に関するリスクアセスメントを行い、最善の立地代替案を選び出そうとするものである。この方法をフローチャートに示すと図-1のようになる。この図に従って候補地の選定方法を述べる。

(1) 1次スクリーニング

物理的制約、及び適用を受ける各種の関係法規によるスクリーニングであり、ゾーンの抽出を行う。

1) 物理的制約によるスクリーニング

2) 法律上の制約によるスクリーニング

(2) 2次スクリーニング

1次スクリーニングにおいて現状ではクリアーしたが、現在土地利用されているか、または、将来的に利用する計画のある土地を除外するためのスクリーニングであり、1次スクリーニングにおいて抽出したゾーン内における処分場候補地の抽出を行う。

(3) 3次スクリーニング

1次及び2次スクリーニングをクリアーし抽出された処分場候補地に対して、地形、地質、周辺環境、周辺状況等のパラメータによる得点付けを行い、処分場候補地をランキングして、優劣関係を明確にする。

(4) 地下水汚染に関するリスクアセスメント

全てのスクリーニングをクリアーし、3次スクリーニングのランキングにおいて、上位にランクされた複数の処分場候補地に対して地下水汚染に関するリスクアセスメントを行い最善の処分場候補地を決定する。ここでは、リスクと共に経済的、文化・心理的、自然環境的要因を考え合わせた選定を行っている。

図-1のリスクアセスメントの前半の部分については、文献3)と同様であるので、AHPを組み込んだ部分についてのみ説明する。すなわち、リスク判定基準を満足した全ての代替案の中で、最善の代替案をAHP (Analytic Hierarchy Process) ⁵⁾ を使って求める。これはまず、リスクと共に比較する選好指標を選び出し、階層図を作る。この階層図は、基本的には目的、評価要因そして代替案の3つのレベルからなる。次に各レベルの評価要素について、一対比較を行う。そして、一対比較行列の最大固有値とそれに対応する固有ベクトルを求める。求められた固有ベクトルの各成分の値として、各評価要素の重要度(重み

表-1 候補地選定のためのスクリーニング

1次スクリーニング	
(1) 物理的制約によるスクリーニング	
選定指標	標高及び起伏、地すべり、崖崩れ、地盤沈下地帯、表流水、用水の水源及び取水位置
(2) 法律上の制約によるスクリーニング	
各法令	都市計画法、文化財保護法、農業振興地域の整備に関する法律、生産緑地法、自然公園法、自然環境保全法、首都圏近郊緑地保全法、都市緑地保全法、森林法、都市公園法、鳥獣保護及狩猟ニ関スル法律、農用地の土壌の汚染の防止に関する法律、河川法、水源地域対策特別措置法、砂防法、地すべり等防止法
2次スクリーニング	
選定地	公共(公益)施設、住宅用地、工業団地、レジャー・スポーツ施設、墓園、ダム集水域
3次スクリーニング	
カテゴリー	パラメータ
地形・地質	地形分類、表層地質、地下水位
規模	面積、容量、標高差
気候	風向、風力、降雨量、蒸発量
土地取得	土地利用、土地所有
自然環境・公害	生物への影響、河川類型、内水面汚染
建設・維持管理	交通経路、土の採取場からの距離、都市からの距離、排水事業場からの距離
生活環境	交通量、景観の変化、跡地利用、周辺住宅の数

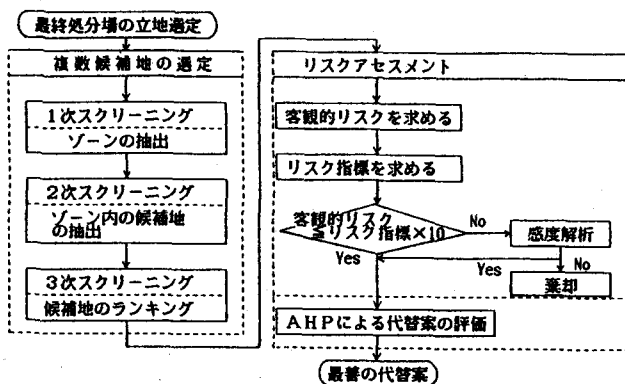


図-1 本研究の立地選定フロー

表-2 仮想問題の設定条件

設定項目	設定内容		
処分場面積	100m×100m		
埋立容量	80,000 m ³		
有害化学物質の種類及び濃度	Tetrachloroethyleneのみで、漏出した浸出液濃度は、100 (μg/l)・		
選好指標	リスク、及びコスト、ベネフィットに関する諸要因として、経済的要因、文化・心理的要因、自然環境的要因、		
暴露集団	リスク計算においては、周辺地域住民で、全住民は飲料水として井戸水を使用していると仮定、		
n=24=9-Alt	Alt.A	Alt.B	Alt.C
透水係数(cm / s)	1.4×10 ⁻²	1.0×10 ⁻²	5.0×10 ⁻³
水位勾配	5/100	4/100	6/100
間隔率	0.4	0.4	0.4
間隔流速(m/day)	1.50	0.86	0.65
分散係数(cm ² /S)	1.75	1.00	0.75

付け)が求められるが、一対比較行列の整合性の計算をすることにより重要度の信頼性についてチェックしておく必要がある。最後に、各階層ごとの重要度について合成を行い、総合的重要度を求める。この総合的重要度が各代替案の選好度を示しており、この値の大きい順に好ましい代替案となり、最善の代替案が得られる。この時、一対比較値を変えてみて、代替案の優劣関係がどう変わるかを感度解析的に検討しておくことも必要である。

3. 仮想問題への適用例

本研究の方法を、仮想問題としてある自治体における廃棄物最終処分場の立地選定に適用して検討してみる。

3.1 問題設定

ここでは、1次及び2次スクリーニングをクリアーし、3次スクリーニングでのランキングにおいて上位にランクされた3つの最終処分場候補地について、地下水汚染を考慮したリスクアセスメントを行い、最善の処分場を1つに絞り込む。また、それぞれの処分場の構造などの条件は、リスクを計算する場合同じであると仮定する。具体的な設定条件については、表-2に示す。また、それぞれの処分場候補地(Alt. A, Alt. B, Alt. C)の位置や地下水の流れ方向については、図-2に示す。

3.2 計算例

仮想問題の計算を、本研究のリスクアセスメント手法に従って行う。

(1) リスクアナリシス

1) シミュレーションによりそれぞれの代替案での代表濃度を決定する。

ここでは、2次元のPlume式を用いて、有害物質の汚染範囲を決定し、暴露住民の居住する集落地域と重なる範囲を見つけ出し、その中で汚染濃度の一番大きい場所と小さい場所の有害物質の濃度の平均をとり代表濃度とする。例えば、代替案Aの有害物質移行状態と代表濃度について図-3に示す。

2) 代表濃度をU.S. EPAの定めた 10^{-6} のリスクをもつ汚染濃度と比較し、比例計算により客観的リスクを求める。次に、これらのリスクは生涯暴露によるリスクであるので人の生涯暴露期間を70年と考慮して、年当りの客観的リスクに換算した。その結果を表-3に示す。

3) 暴露集団を考慮し、集団リスク(Population Risk)に変換する。

ここでは、被暴露集団における年間発癌リスクを求める。これは、前で求めた客観的リスクに暴露人数を掛け合わせて、表-3のように求まる。

4) リスク指標を求める。

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⁶⁾と同様に求める。絶対リスクは、米国のリスクに関する歴史的データであるConsadデータより、リスクの種類、特性等を考慮して社会的に同種のタイプのリスクを設定する。次に、リスク比例因子(F_1)は非自発的なリスクに関する間接的利得-損失バランスが望ましいか、望ましくないかで決定する。リスク割引比例因子(F_2)は社会に対する間接的な利益の大ききさで決定するので、ここでは跡地利用の評価等を考慮して決める。リスク制御因子(F_3)はリスクの制御に係わる因子であるので、3次スクリーニングに使用したパラメータの中でリスク制御に関連したものを選び出し、その得点によって決定する。それぞれの代替案についての値を表-4に示す。

以上のことを総合してリスク指標を求める。代替案毎のそれぞれの因子の値とそれを用いて計算したリスク指標値については表-5に示す。

5) 客観的リスクとリスク指標を比較する。

各々の代替案の客観的リスクとリスク指標は表-6のようになる。この表より代替案Cは受容リスクレベルを満足しているが、代替案A, Bについては満足していないことがわかる。

(2) 感度解析

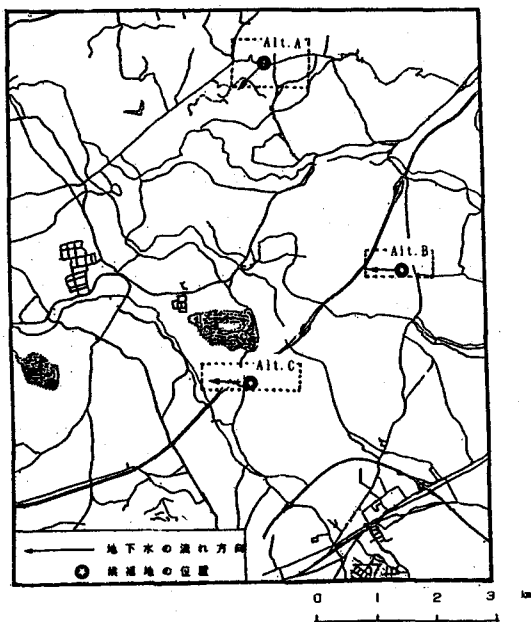


図-2 処分場候補地の位置
と地下水の流れ方向

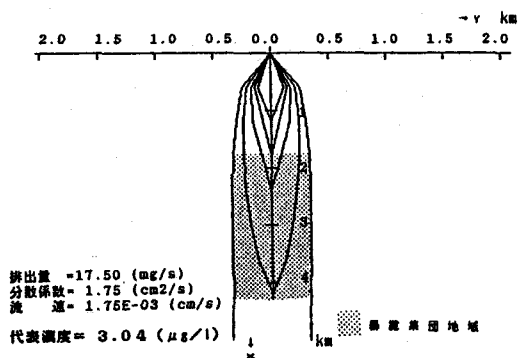


図-3 代替案Aの濃度コンターと代表濃度

表-3 客観的リスクと集団リスク

Alt.	暴露人数(人)	客観的リスク(死/人/年)	集団リスク(死/年)
Alt. A	1250	5.4×10^{-6}	6.8×10^{-5}
Alt. B	2650	5.3×10^{-6}	1.4×10^{-4}
Alt. C	1780	5.9×10^{-6}	1.1×10^{-4}

表-4 各代替案のリスク制御因子の決定

Alt.	Alt. A	Alt. B	Alt. C
敷地地質	1.25	1.25	2.5
地下水位	1.25	5	2.5
降雨量	2	2	2
蒸発量	2	2	2
生物への影響	1.5	3	3
河川類型	3	3	3
内水面漁業権	3	3	3
周辺住宅数	3	3	1.5
合計得点	17.0	22.25	19.5
総得点に対する比率 (F_2)	0.43	0.66	0.49

表-5 各代替案のリスク指標の計算

Alt.	絶対リスク	F1	F2	F3	リスク指標
Alt. A	5×10^{-6}	0.1	0.001	0.43	2.2×10^{-10}
Alt. B	5×10^{-6}	0.1	0.01	0.58	2.8×10^{-9}
Alt. C	5×10^{-6}	0.1	1	0.49	2.5×10^{-7}

表-6 各代替案の客観的リスク
とリスク指標の比較

Alt.	客観的リスク	リスク指標 $\times 10$	受容
Alt. A	5.4×10^{-6}	2.2×10^{-9}	×
Alt. B	5.3×10^{-6}	2.8×10^{-9}	×
Alt. C	5.9×10^{-6}	2.5×10^{-8}	○

表-7 代替案の感度解析

Alt.	客観的リスク	リスク指標 $\times 10^2$
Alt. A	2.7×10^{-6}	2.2×10^{-9}
Alt. B	2.7×10^{-6}	2.8×10^{-7}

表-8 修正した代替案Aのリスク比較

Alt.	客観的リスク	リスク指標 $\times 10$	集団リスク
Alt. A	5.4×10^{-6}	2.2×10^{-9}	6.8×10^{-6}

リスクアナリシスにおいて、受容リスクレベルを満足できなかった代替案A、Bについて感度解析を表-7のようにした。この表から、代替案Aは受容リスクレベルを満足しない。しかし、代替案Bは受容リスクレベルを満足することがわかる。

(3) 代替案の修正

代替案Aは感度解析によっても受容リスクレベルを満足しないため修正を行う。代替案Aでは、しゃ水工等により有害物質の漏出濃度を小さくするものと考え、有害物質の初期濃度を10.0($\mu\text{g/l}$)として再度客観的リスクを計算すると、表-8のようになる。この表より代替案Aが受容リスクレベルを満足しないことがわかる。よって代替案Aは決定トリーから棄却される。

(4) AHP (Analytic Hierarchy Process) による代替案の評価

リスクと共に評価を行うコストとベネフィットの要因である経済的要因、文化・心理的要因、自然環境的要因について小分類をして、階層図(図-4)を作る。次に、各レベル毎に一对比較を行い、総合的重要度を求める。ここでは、リスクについては集団リスクを参考にして一对比較を行う。一对比較を行った結果についての一例を表-9に、また総合的重要度については表-10に示す。これを見ると代替案Cが最善の代替案であることがわかる。

(5) 一对比較値を替えた感度解析

ここでは、一对比較値を替えてみて代替案の優劣関係がどう変わるかを調べてみる。住民の利便性とリスクに対する不安感についての代替案Bと代替案Cとの一对比較値を替えてみたときの結果について表-11と表-12に示す。この結果、逆に代替案Cより代替案Bの方が選好度が高くなることがわかる。

3. 3 考察

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実際の最終処分場の立地選定に利用可能かどうかについて検討してみた。この場合、地下水の流れ方向と水理・土壌パラメーターは仮定したが、地下水の流れ方向によって集団リスクは大きく変わってくるため、実際に適用する場合はボーリング調査等の

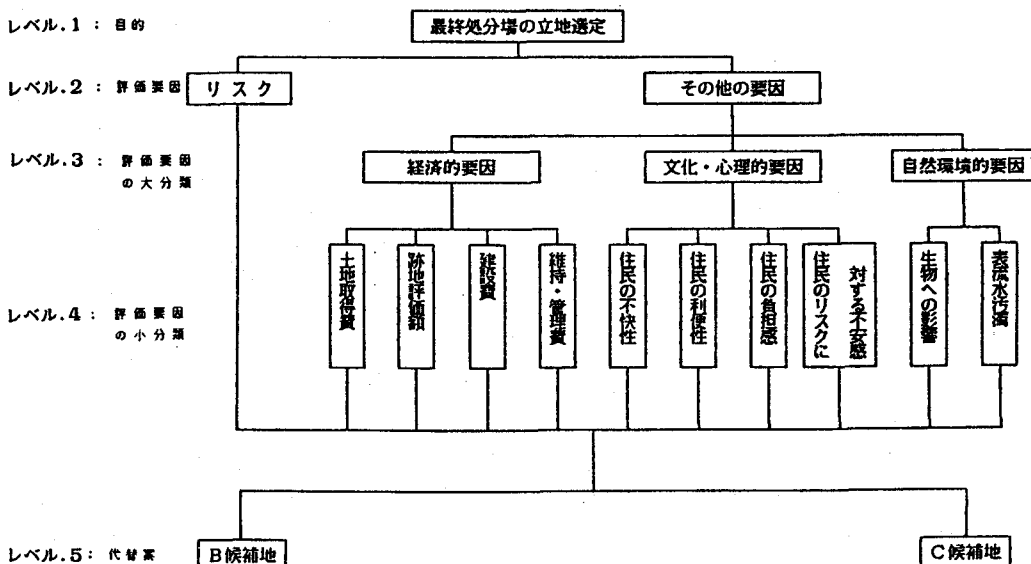


図-4 仮想問題の総合評価のためのAHPの階層図

表-9 AHPによる一対比較行列の計算例

レベル 2

要素の重要度

立地選定	リスク	その他の要因	重要度
リスク	1	1 / 2	0.333
その他の要因	2	1	0.667

固有値 = 2.0 整合度 = 0.000 整合比 = 0.000

レベル 3

要素の重要度

その他の要因	経済要因	文化心理要因	自然環境要因	重要度
経済要因	1	1 / 5	1 / 3	0.109
文化心理要因	5	1	2	0.582
自然環境要因	3	1 / 2	1	0.309

固有値 = 3.0 整合度 = 0.002 整合比 = 0.003

レベル 4

要素の重要度

経済要因	土地取得費	跡地評価額	建設費	維持・管理費	重要度
土地取得費	1	3	1 / 3	1 / 2	0.164
跡地評価額	1 / 3	1	1 / 5	1 / 4	0.071
建設費	3	5	1	3	0.514
維持・管理費	2	4	1 / 3	1	0.251

固有値 = 4.1 整合度 = 0.037 整合比 = 0.041

レベル 4

要素の重要度

文化心理要因	住民の不快性	住民の利便性	住民の負担感	住民の不安感	重要度
住民の不快性	1	5	9	3	0.568
住民の利便性	1 / 5	1	5	1 / 3	0.127
住民の負担感	1 / 9	1 / 5	1	1 / 7	0.040
住民の不安感	1 / 3	3	7	1	0.267

固有値 = 4.2 整合度 = 0.057 整合比 = 0.063

レベル 4

要素の重要度

自然環境要因	生物への影響	表流水汚濁	重要度
生物への影響	1	1 / 3	0.250
表流水汚濁	3	1	0.750

固有値 = 2.0 整合度 = 0.000 整合比 = 0.000

レベル 5

代替案の重要度

住民の利便性	B候補地	C候補地	重要度
B候補地	1	1 / 4	0.200
C候補地	4	1	0.800

固有値 = 2.0 整合度 = 0.000 整合比 = 0.000

レベル 5

代替案の重要度

住民の不安感	B候補地	C候補地	重要度
B候補地	1	1 / 4	0.200
C候補地	4	1	0.800

固有値 = 2.0 整合度 = 0.000 整合比 = 0.000

表-10 AHPによる総合評価

評価要素名	重要度	B候補地	C候補地
リスク	0.333	0.333	0.667
土地取得費	0.012	0.750	0.250
跡地評価額	0.005	0.143	0.857
建設費	0.038	0.667	0.333
維持・管理費	0.018	0.750	0.250
住民の不快性	0.219	0.500	0.500
住民の利便性	0.049	0.200	0.800
住民の負担感	0.015	0.667	0.333
住民の不安感	0.104	0.200	0.800
生物への影響	0.051	0.750	0.250
表流水汚濁	0.154	0.750	0.250
総合評価		0.465	0.535

表-11 一対比較値を替えた例

レベル 5

代替案の重要度

住民の利便性	B候補地	C候補地	重要度
B候補地	1	1	0.500
C候補地	1	1	0.500

固有値 = 2.0 整合度 = 0.000 整合比 = 0.000

レベル 5

代替案の重要度

住民の不安感	B候補地	C候補地	重要度
B候補地	1	1	0.500
C候補地	1	1	0.500

固有値 = 2.0 整合度 = 0.000 整合比 = 0.000

表-12 一対比較値を替えた時の総合評価

評価要素名	重要度	B候補地	C候補地
リスク	0.333	0.333	0.667
土地取得費	0.012	0.750	0.250
跡地評価額	0.005	0.143	0.857
建設費	0.038	0.667	0.333
維持・管理費	0.018	0.750	0.250
住民の不快性	0.219	0.500	0.500
住民の利便性	0.049	0.500	0.500
住民の負担感	0.015	0.667	0.333
住民の不安感	0.104	0.500	0.500
生物への影響	0.051	0.750	0.250
表流水汚濁	0.154	0.750	0.250
総合評価		0.511	0.490

現地調査により決定することが望ましい。また、問題中では選好指標としてリスク、及び経済的、文化・心理的、自然環境的要因を選んだが、政治的要因などの指標を入れて考えることも可能である。

最終処分場を建設する場合、住民の合意形成は非常に重要であるため、AHPにおいては文化・心理的要因の比重を高くした。感度解析において住民の利便性とリスクに対する不安感における代替案B、Cの一対比較値を修正すると、修正前と逆に代替案Bが選択されることがわかった。これは、可能な限り住民の利便性を改善し、十分な説明により不安感を取り除いておくことの必要性を示していると考えられる。感度解析において代替案Bと代替案Cの選好度が入れ替わったように、AHPの一対比較値は代替案の選択において非常に大きな影響を与えるために、作業は慎重に行わなければならない。これには住民の声を

反映させるため、住民へのアンケート調査や住民グループとの話し合いによって決定することが望ましいと考えられる。

4. おわりに

本研究では、最終処分場建設のプランニングの段階での立地選定において、地下水汚染を考慮したリスクアセスメント手法を開発しその有用性が示せた。そのとき、リスクアセスメント手法を用いる前段階として、処分場候補地の絞り込みのためのスクリーニング方法についての検討も行った。選好指標としてリスク、及びコスト、ベネフィットに関連した様々な要因についてAHPを用いて解析し、AHPが意思決定のための指標の総合化に有効な方法であることがわかった。

今後の課題としては、まずリスクに関する情報の整備が挙げられる。例えば、候補地選定においては、様々な制約条件によるスクリーニングによって候補地の絞り込みを行ったが、実際候補地を選定する場合には自然、社会、経済的条件や環境影響、防災面などの調査を行い、施設の構造や建設工程などを決定し、関係者の同意を得て計画の決定を行うため、非常に大変な作業となる。このため迅速な作業ができるように予め関連した条件を地域別に知ることができるようなデータベースを整備しておくことが必要であろう。さらに、リスクアセスメントを実施するにあたって、暴露解析における有害物質の環境運命の機構解明、暴露分布の推定、毒性評価などに関連した適切な情報の整備が必要である。

また、AHPを使用するにあたって一対比較による重み付けは、地域によってリスク重視、コスト重視、ベネフィット重視など地域特性によって異なってくることが考えられる。AHPを実施する場合には事前にいくつかのシナリオをつくり、各シナリオで選ばれる代替案を比較し、住民合意の観点から実施可能性などについて検討を行うことは意義があると考えられる。

最後に、千葉県環境部生活環境課の皆様、福岡県土木部野上和孝氏、国立公衆衛生院高松善一氏のご協力に感謝致します。

参考文献

- 1) Whelan, G., D.L. Streng, B.L. Steelman & K.A. Hawley (1985) : Development of the Remedial Action Priority System—An Improved Risk Assessment Tool for Prioritizing Hazardous and Radioactive-Mixed Waste Disposal Sites, Proc. of the 6th National Conference on Management of Uncontrolled Hazardous Waste Sites, 432-437.
- 2) Whelan, G. & B.L. Steelman (1984) : Development of Improved Risk Assessment Tools for Prioritizing Hazardous and Radioactive-Mixed Waste Disposal Sites, PNL-SA-12708. Presented at the Fifth DOE Envir. Protection Meeting, New Mexico, Nov. 5, 1984.
- 3) 古市, 田中 (1987) : 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、土木学会第15回環境問題シンポジウム講演論文集、7-14.
- 4) 全国都市清掃会議, 廃棄物処理技術開発センター (1987) : 廃棄物最終処分場しゃ水工.
- 5) Saaty, T.L. (1980) : The Analytic Hierarchy Process - Planning, Priority Setting, Resource Allocation, McGraw-Hill.
- 6) Rowe, W. (1977) : An Anatomy of Risk, John Wiley & Sons, New York.