

一般廃棄物焼却場の立地選定に対する改良型 AHP の適用

藤田眞一
(財) 関西環境管理技術センター

田村坦之
大阪大学

(受理 2000 年 3 月 2 日 ; 再受理 2001 年 11 月 14 日)

和文概要 本論文では、改良型 AHP を用いて一般廃棄物焼却場の立地候補地を評価する手法について提案する。この手法の具体的な適用については、仮想的な市を想定し、その中に複数箇所的一般廃棄物焼却場の候補地を代替案として設定し、自治体の廃棄物担当者へのヒアリングに基づいて代替案を評価することにより検証した。本論文で用いた改良型 AHP は、代替案の満足度を表現する選好特性と、意思決定者を取り巻く状況を評価する状況特性とを考慮したものであり、選好順位逆転現象を統合的に説明することができることから、一般廃棄物焼却場の立地選定問題のように立地候補地の数が変わり得る場合に対して有効であることが示された。

1. はじめに

我が国のごみ(産業廃棄物以外の廃棄物である「一般廃棄物」からし尿および生活雑排水を除いたもので、家庭ごみおよび事務所や工場・事業場などから排出される紙屑、厨芥など)の総排出量は、1997年現在で約5,000万トン/年であり、その内78.1%が焼却処分されている[7]。

一般廃棄物を処理する責務は市町村にあり、一般廃棄物焼却場の設置および運営はその市町村、あるいは複数の市町村の間で設置された組合において行われている。廃棄物の減量化のための努力は、市町村、各家庭、事務所、工場・事業場等で行われており、近年その伸びが緩やかとなって来ているもののごみの排出量は減少傾向とはなっていない。従って、一般廃棄物焼却場の建設や建て替えは、市町村にとって最も重要な事業の一つとなっている。しかし、一般廃棄物焼却場の建設予定地の周辺地域に居住する住民は、施設運用や廃棄物輸送車による環境影響に対して懸念や嫌悪を持っており、その合意を得ることは非常に困難な状況にある。さらに、我が国では廃棄物焼却場から排出されるダイオキシンによる汚染問題が重大な社会問題となっており、建設予定地の周辺地域に居住する住民に合意を得ることは、ますます困難となっている。

一般廃棄物焼却場を新たに建設する場合、我が国においては都市計画決定が必要であり、多くの自治体では都市計画決定の手続きに併せて環境アセスメントが実施されている。この場合、都市計画決定は施設の立地場所について決定されるため、候補地として決まった1箇所について環境アセスメントが実施されることになり、複数の候補地に対する代替案評価は行われていないのが現状である。しかし、市町村は、施設の立地場所を1箇所に絞るに当たって複数の候補地から最も望ましいと思える場所を比較選定するのが普通であり、都市計画決定の手続きの前に立地場所の選定内容を公開している事例もある[11]。

また、近年、行政分野において、意思決定に関する説明責任(Accountability)の必要性が

議論されており、一般廃棄物焼却場の立地場所についても合理的な選定の理由を説明することが求められるようになってきている。

本論文は、一般廃棄物焼却場の立地選定に際して、市町村の意思決定を支援するための方法論を提供するものである。

廃棄物処分場に関する立地選定評価については、核廃棄物処分場の立地計画を多属性効用理論により評価した事例[9,10]、廃棄物処分場の立地選定を AHP を用いて評価した事例[4]、廃棄物の海上埋立処分場の立地を λ ファジイ測度法により評価した事例[5]など多くの事例がある。

一般廃棄物焼却場の立地を評価する項目は多く、また、項目間の関係も複雑である。一方、一般廃棄物焼却場の立地選定に関する意思決定支援システムは、市町村レベルでも容易に取り扱うことができる分かり易くかつ簡易なものが望ましい。これらのことから、手法として AHP (Analytic Hierarchy Process) を用いることとした。

AHP は、方法論も理解しやすく、複数の評価項目を持つ複雑な対象を比較的容易に扱えるという長所を持つ[12,13]。しかし、従来の AHP は選好順位逆転現象を正当に取り扱えないという問題がある。選好順位逆転現象とは、新しい代替案が追加された場合、あるいは、すでにある代替案が削除された場合に、他の代替案の選好度合が変化し、場合によっては、選好順位が逆転してしまう現象である。Saaty の AHP[12]では、この現象に対する意味づけや理由付けができなかったため、逆転現象は AHP の矛盾とみなされ、その後の研究者達によって、どのような場合にも逆転が起きないように工夫がなされてきた[1,2,3]。しかし、評価者あるいは意思決定者の選好構造の変化は、実際の意思決定過程において日常的に起こりうることであり、逆転現象は常に矛盾であるとはいえない。

そこで、従来の AHP を使用したときに現れる選好順位逆転をすべて矛盾ととらえるのではなく、逆転現象が起こるべきでない実対象に対しては逆転現象を排除し、逆転現象が合理的に起こる実対象に対してはこの逆転現象を適切に表現することができる改良型 AHP (D-AHP と呼ぶ) が筆者らによって提案された[14]。

一般廃棄物の焼却場の立地選定に際しては、第1候補地の土地が入手できなかった場合や、あるいは、法律等で規制されていて候補に上らなかった土地の規制が緩和されて新しい候補地となり得た場合など、代替案の数が増える場合がある。また、D-AHP では、満足できる最低ラインである希求水準を代替案の評価に当たって導入しているが、一般廃棄物焼却場の建設や運用に関しては、市や町の予算があり、また、環境影響についても、排出基準や環境基準などの基準が設定されている。このため、本論文では、一般廃棄物焼却場の立地選定を評価するに当たって D-AHP を用いることとした。

2. 一般廃棄物焼却場の立地場所設定のモデリング

仮想的な市を想定して、Figure 1 に示すように、その市域内の丘陵部、平地部及びその中間部に、一般廃棄物焼却場の立地場所の代替案として代替案1 (A1)、代替案2 (A2) および代替案3 (A3) の3箇所を設定した。なお、焼却場の諸元については、Table 1 に示す値を設定した。

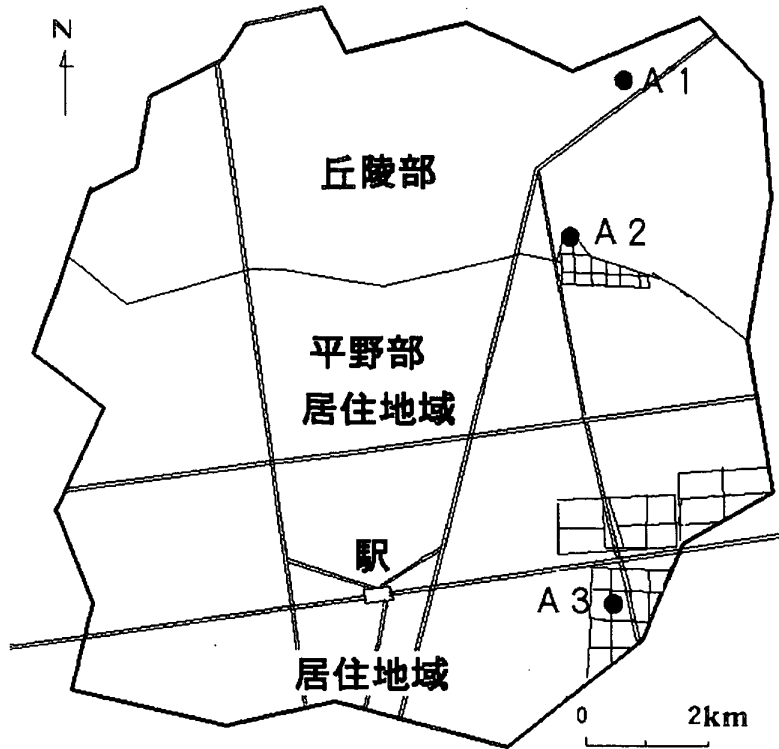


Figure 1: モデルとなる市における立地候補場所
The alternative sites in a hypothetical city

Table 1: 一般廃棄物焼却場の諸元
The conditions of the refuse incineration plant

処理場の面積	2 ヘクタール
処理能力	300 トン/日
煙突高	60 m
排ガス温度	100℃
排出ガス量 (乾き)	56,000 Nm ³ /hour
ダイオキシン排出濃度	0.1 ng-TEQ /Nm ³
硫黄酸化物排出濃度	50 ppm
窒素酸化物排出濃度	50 ppm
浮遊ふんじん排出濃度	0.02 g/Nm ³

一般廃棄物焼却場の立地場所の条件を評価するには、多くの評価項目が考えられるが、本論文では、自治体の廃棄物担当者へのヒヤリングに基づいて、施設を建設する場合の容易性に関する項目、施設運営の容易性に関する項目および地域住民の合意に関する項目

を設定した。ここで、地域住民の合意に関する項目としては、施設の建設および施設運営による環境影響の程度に関する項目を用いることとした。一般廃棄物焼却場の立地場所を評価する項目を Table 2 に示す。

Table 2: 一般廃棄物焼却施設の立地評価項目
The items to evaluate the location of the refuse incineration plant

施設建設の容易性	建設費用	用地買収費用 用地造成費用 施設建築費用
	自然環境への影響	植物への影響 動物への影響
	文化財への影響	埋蔵文化財の可能性
	土地利用規制	開発規制区域の有無 保安林指定 その他
施設運営の容易性	通勤の便利さ	直近の鉄道駅からの距離
	ごみ運搬の便利さ	居住地からの平均距離
	用水	上下水の整備状況
地域住民の合意	施設からの環境影響	大気汚染 悪臭 騒音
	ごみ運搬による環境影響	大気汚染 悪臭 騒音
	施設の存在による影響	景観阻害 電波障害

3. D-AHP のアルゴリズムと一般廃棄物焼却場の立地評価

3.1. 一般廃棄物焼却場の立地評価のための項目の簡易化

評価に当たって、Table 2 に示した各項目のうち各代替案間で差が無いと考えられる項目は除き、さらに、以下のとおり簡易化を行った。

- ① 焼却場建設による自然環境への影響は、森林の伐採面積で代表した。
- ② 焼却場稼働による大気汚染は、施設から排出されるダイオキシンの居住地域における年平均着地濃度で代表した。
- ③ 廃棄物輸送車に関しては、ごみ運搬の便利さの項目については居住地(すなわち廃棄物の収集場所)から焼却場までの平均距離で代表し、ごみ運搬による環境影響の項目については廃棄物輸送車が居住地を走行する平均距離で代表した。

3.2. 一般廃棄物焼却場の立地評価のための項目の値

Figure 1 に示した立地条件に基づいて、代替案に対する各評価項目の値を与えた。とくに、施設から排出されるダイオキシンの年平均着地濃度については、Table 1 に示した施設の諸元に基づいて、プリューム式[6]とパフ式[15]とを用いて、各代替案について立地地点からの拡散計算を行うことにより求めた。Figure 2 にダイオキシンの年平均着地濃度の計算結果を示す。

また、Table 2 に示した各項目を簡易化した後の評価項目を Table 3 に示す。また、地理的条件及び拡散計算結果から設定した各代替案(A1, A2, A3)の値を Table 3 の右欄に示す。

Table 3: 一般廃棄物焼却施設の立地評価項目とその値
The items and their values to evaluate the location of the refuse incineration plant

施設建設の容易性	建設費用	用地買収費用	A1: 3,000 円/m ² , A2: 10,000 円/m ² , A3: 100,000 円/m ² 希求水準: 10,000 円/m ²
		用地造成費用	A1: 40,000 円/m ² , A2:10,000 円/m ² A3: 2,000 円/m ² 希求水準: 15,000 円/m ²
	自然環境への影響	伐採面積	A1: 2ha, A2: 1.2ha, A3: 0ha 希求水準: 2ha
	文化財への影響	埋蔵文化財の可能性	A1: 5%, A2: 15%, A3: 80% 希求水準: 20%
施設運営の容易性	通勤の便利さ	直近の鉄道駅からの距離	A1: 15km, A2: 10km, A3: 4km 希求水準: 10km
	ごみ運搬の便利さ	居住地からの平均距離	A1: 20km, A2: 15km, A3: 8km 希求水準: 15km
地域住民の合意	施設からの環境影響	大気汚染 (ダイオキシン濃度)	A1: 0.005pg-TEQ/Nm ³ A2: 0.02pg-TEQ/Nm ³ A3: 0.06pg-TEQ/Nm ³ 希求水準: 0.06pg-TEQ/Nm ³
		悪臭	A1: 臭気強度 0, A2:臭気強度 1 A3: 臭気強度 2 希求水準: 臭気強度 0
		騒音	A1: 感覚閾値以下, A2: 40 デシベル, A3: 50 デシベル 希求水準: 40 デシベル
	ごみ運搬による環境影響	ごみ運搬車の居住地平均通過距離	A1: 10km, A2: 10km, A3: 8km 希求水準: 10km
	施設の存在による影響	景観阻害	A1:施設視認せず, A2: 施設の一部視認 A3:施設視認 希求水準: 施設の一部視認
		電波障害	A1: 影響なし A2: 殆ど影響なし, A3: 100 件に要対策 希求水準: 殆ど影響なし

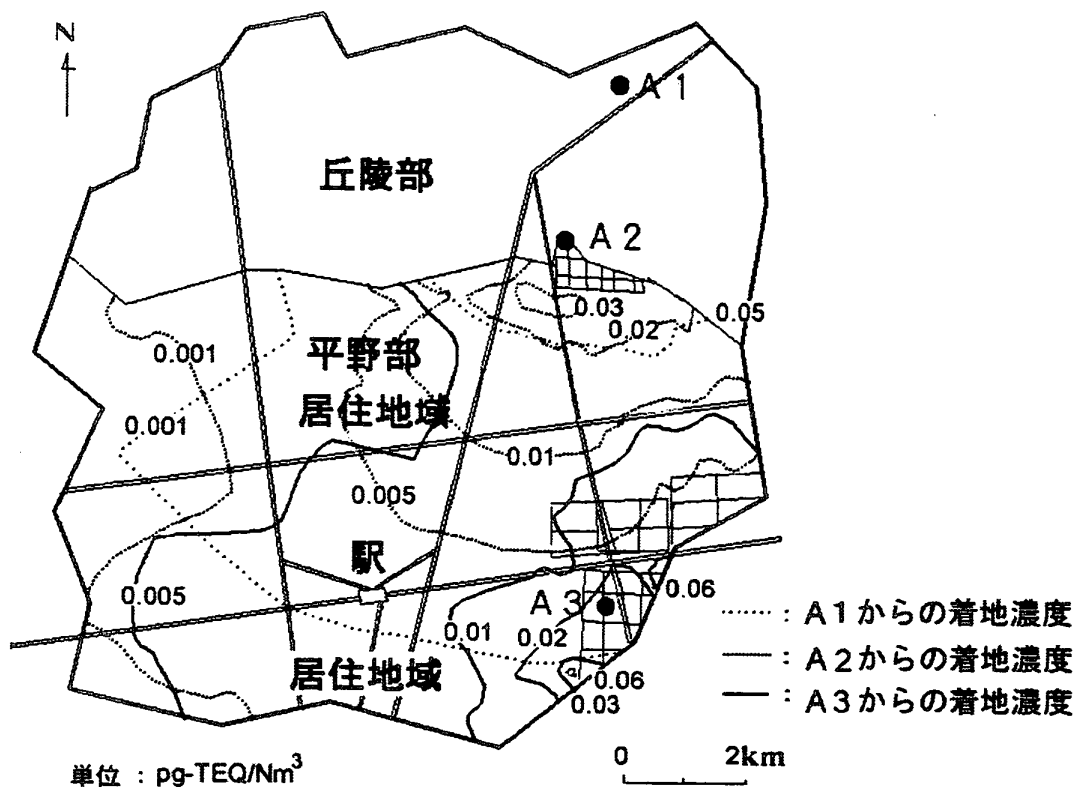


Figure 2: 施設から排出されたダイオキシンの着地濃度
The concentrations of dioxin emitted from the plants

3.3. D-AHP のアルゴリズムと廃棄物焼却場の立地評価

Table 3 に示した各項目の代替案ごとの値(希求水準に関する値は除く)を提示して自治体の廃棄物担当者に対してヒヤリングを行い、その結果に基づいて、次に示すアルゴリズムに基づき、各評価基準の下での一対比較を行うことにより代替案の評価を行った。

D-AHP は、選好特性と状況特性の意思決定分析についての2つの特性を含んでいる。選好特性は、与えられた代替案に対する意思決定者の選好度合を意味し、ここでは、任意の評価基準の下で希求水準を尋ね、この希求水準を仮想の代替案として代替案集合の中に加え、各評価基準の模試で一対比較を行い、希求水準の重要度が1になるよう正規化する。状況特性は、意思決定者に与えられた代替案を取り巻く状況に対する選好度合を表し、ここでは、状況特性の値が大きい評価基準ほど、代替案の集合全体に関する魅力が大きいと考え、そのウエイトが大きくなるように修正している[14]。

D-AHP のアルゴリズムと、一般廃棄物焼却場の立地評価への適用は、以下のとおりである。

ステップ1: 評価基準と代替案を階層構造にまとめる。

一般廃棄物焼却場の立地評価に対する評価基準と代替案は、Figure 3 に示すような階層構造にまとめることができる。

ステップ2: 代替案の一つ上のレベルにある評価基準同士の間で一対比較を行う。一対比較行列の最大固有値に対する固有ベクトルから、それぞれの評価基準について重要度の

比が得られるが、重要度の和が1となるように正規化して基本重要度とする。

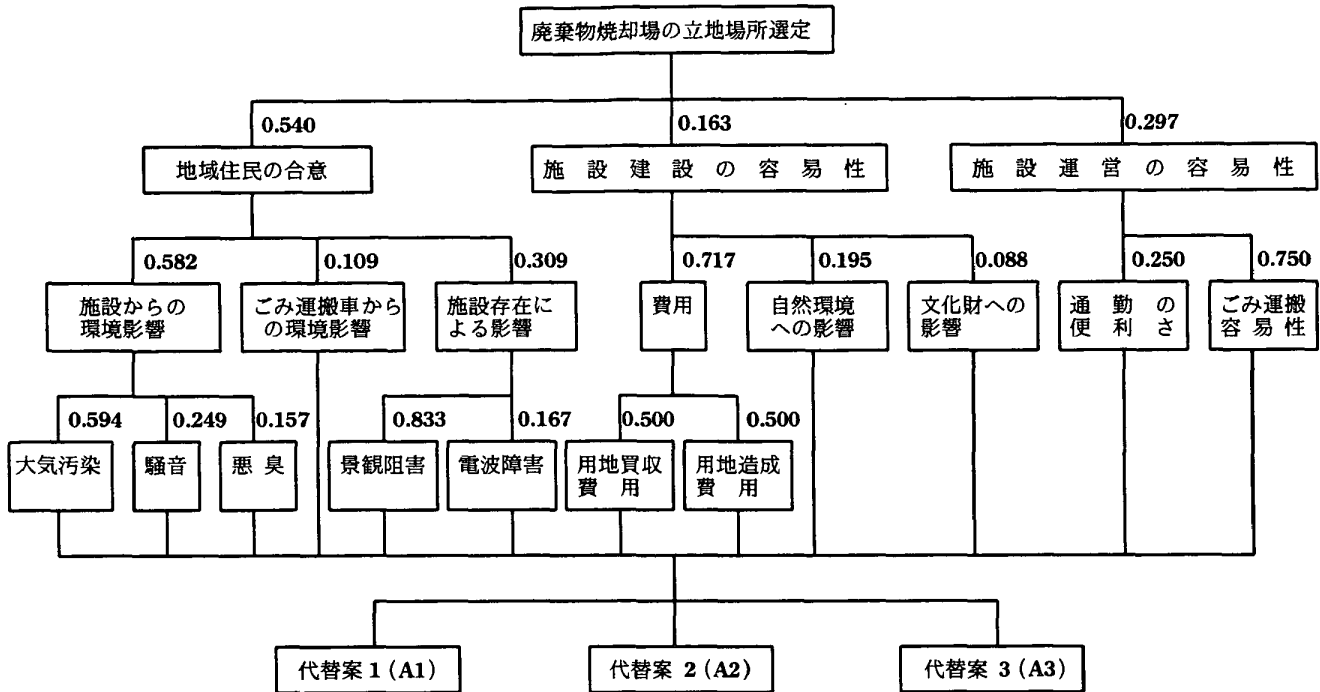


Figure 3: 一般廃棄物焼却場の立地評価のための階層構造
The hierarchical structure for evaluating the location of refuse incineration plant

一対比較により求めた基本重要度は、Figure 3 に示した階層構造において代替案レベルの一つ上の評価基準レベルに示した値となった。例えば、大気汚染、騒音、悪臭の基本重要度はおのおの0.594, 0.249, 0.157である。

ステップ3: 代替案の一つ上のレベルにあるそれぞれの評価基準の下で、代替案の希求水準を尋ねて、代替案の集合にそれも含めて一対比較を行う。一対比較行列の最大固有値に対する固有ベクトルから、それぞれの代替案について重要度の比が得られるが、希求水準の重要度が1となるように正規化する。

希求水準の値は、Table 3 の右欄に示すような値であった。

例えば、評価基準「大気汚染」の下での一対比較の結果は、Table 4 に示すとおりであった。

ステップ4: それぞれの評価基準の下での一対比較行列に整合性がとれている場合、基本重要度がその評価基準の重要度となる。整合性がとれていない場合には、その評価基準の重要度を次式によって修正する。

$$w_p = w_p^B \cdot C_q^{f(C.I.)}$$

ここで、代替案 q の集合の状況特性の値 C_q は、次式により求められる。

$$C_q = \left| \log_{\rho} \left(\prod_{i=1}^n w_i \right)^{1/n} \right|$$

ここで、 w_p^B は評価基準 p の基本重要度、 $f(C.I.)$ は整合度 $C.I.$ に関する単調増加関数で、 $f(C.I.) = C.I.$ とした。また、 ρ は2つの要素間の重要度の比として割り当てる数値の上限值であり、ここでは通常よく用いられる数値 9 とした。

Table 4: 代替案の対比較行列
A pairwise comparison matrix evaluating the alternatives

大気汚染	A1	A2	A3	希求水準	重要度
A1	1	3	5	5	5.895
A2	1/3	1	3	3	2.621
A3	1/5	1/3	1	1	1.000
希求水準	1/5	1/3	1	1	1.000

$$C.I. = 0.015$$

上の例では、 C は0.312となる。よって、評価基準大気汚染の重要度は次のようになる。

$$w = 0.594 \cdot 0.312^{0.015} = 0.584$$

同様にして、騒音、悪臭の重要度は、おのおの0.215, 0.151となる。

ステップ5: 状況特性を加味したことによって重要度が変化した場合には、評価基準の重要度の和が1になるように正規化し直す。

上の例では、大気汚染、騒音、悪臭の重要度の和が1となるよう正規化すると、おのおの0.615, 0.226, 0.159となる。

ステップ6: 加法系統合ルールにしたがって、総合重要度を求める。階層構造にまだ上の層があるときには、ステップ7へ進む、なければ、終了。

本例の場合、まだ上の層があるので、最上層に到達するまで、ステップ7へ進む。

ステップ7: 各代替案の重要度が分かっている評価基準 C_1 を、その一つ上のレベルにある評価基準 C_2 の下で対比較を行い、それぞれの重要度を求める。また、対比較に整合性がとれていない場合には、すでに分かっている評価基準 C_2 の重要度から状況特性を求めて、その評価基準に対する重要度を変更し、ステップ6へ進む。

本例の場合、大気汚染、騒音、悪臭の上の層である「施設からの環境影響」のレベルを評価し (Figure 3 参照)、同様な手続きを行い、ステップ6へ進む。

4. AHP および D-AHP を用いた立地評価の結果

3節に示したアルゴリズムに基づいて計算された結果を Table 5 に示す. なお, Table 5 には Saaty の AHP を用いて評価した場合と, D-AHP を用いた場合の評価結果を示す.

両方のモデルで代替案1 (A1) が最も望ましい案となっており, 2番目が代替案3 (A3), 代替案2 (A2) が3番目となった.

Table 5: AHP および D-AHP を用いた立地評価結果
The result of evaluation of the locations using AHP and D-AHP

代替案	Saaty の AHP		D-AHP	
	重要度	順位	重要度	順位
A1	0.395	1	2.167	1
A2	0.270	3	1.527	3
A3	0.335	2	1.978	2
希求水準	—		1.000	

次に, 代替案1の土地が取得できなかった場合を想定して, 代替案1 (A1) を除いて評価した. ここでは, 代替案1を除いた場合も, 希求水準の値は変わらず, 従って, 代替案レベルの一対比較行列は第1行と第1列が除かれた3行3列の行列になるとした. また, Saaty の AHP の場合も同様に, 代替案レベルの一対比較行列は第1行と第1列が除かれた2行2列の行列になるとした. 各評価基準の評価値も先の評価と変わらないとした. 評価の結果を Table 6 に示す.

Table 6: 代替案1を除いた場合の評価結果
The result of evaluation excluding A1

代替案	Saaty の AHP		D-AHP	
	重要度	順位	重要度	順位
A2	0.541	1	1.569	2
A3	0.459	2	1.864	1
希求水準	—		1.000	

Saaty の AHP を用いた場合には, 残った代替案2 (A2) と代替案3 (A3) の選好順位は逆転したが, D-AHP を用いた場合には選好順位は変化しなかった. これは, D-AHP を用いた評価では, 希求水準の値が変わらなかったことに起因すると考えられる. 仮に, 選好順位逆転現象が起こった場合でも, D-AHP はこの選好順位逆転現象が起こった理由を合理

的に説明することができる[14].

5. おわりに

改良型 AHP (D-AHP) を用いて一般廃棄物焼却場の立地選定を評価する手法について検討を行った。これは、一般廃棄物焼却場の立地に際して市町村の意思決定を支援するためのものである。AHP を用いることは、この手法が多項目で複雑な対象を分かりやすくかつ容易に取り扱えるという長所を持つことから、評価する項目の多い一般廃棄物焼却場の立地選定を評価する手法として非常に有効である。

また、Saaty の AHP を用いた場合には、選好順位逆転現象が起こったが、D-AHP を用いた評価では、希求水準の値が変わらなかったことから、選好順位逆転現象は起こらなかった。一般廃棄物焼却場の立地選定に際しては、最も望ましい候補地が入手できなかった場合など代替案の数が増える場合があり、D-AHP はこのような対象を取り扱うのに際して有用な手段となる。

さらに、D-AHP では代替案の評価に当たって希求水準を尋ねているが、一般廃棄物焼却場の建設や運用に関しては、市町村には予算があり、また、環境影響についても、排出基準や環境基準などの基準が設定されており、最低限これぐらいは必要と意思決定者が求める水準である希求水準を設定することは妥当性のあるものと考えられる。

なお、D-AHP による評価は、パーソナルコンピューターを用いて対話型のプログラムを作成して実施したが、この場合には、意思決定者の行う手続きは代替案の一つとして希求水準が加わるのみで、その他の手続きは Saaty の AHP と変わらないため、取り扱いが容易という AHP の長所が損なわれることはなかった。

我が国においても、計画段階から代替案も含めて事業計画や政策を評価する制度である戦略的環境アセスメント(SEA)の導入が議論されるようになってきた[8]。本論文で検討した手法は、戦略的環境アセスメントに対しても有効な手段を提供するものである。

近年、ダイオキシン問題に端を発して、小規模の一般廃棄物焼却場を統合して、複数の市町村の焼却場を広域的に処理する大規模な施設を1箇所に建設する傾向にある。この場合には、どの市町村のどの場所に一般廃棄物焼却場を設置するかについて、複数の市町村間の集団意思決定が必要となる。

今後、複数の意思決定者が存在する場合の集団意思決定問題への D-AHP の適用についても研究していきたい。

参考文献

- [1] J. Barzilai, W. D. Cook and B. Golany: Consistent weights for judgements matrices of relative importance of alternatives. *Operations Research Letters*, 6-3 (1987) 131-134.
- [2] V. Belton and T. Gear: On a shortcoming of Saaty's method of analytic hierarchies. *OMEGA The International Journal of Management Sciences*, 11-3 (1983) 228-230.
- [3] J. S. Dyer: Remarks on the analytic hierarchy process. *Management Sciences*, 36-3 (1990) 249-258.

- [4] 古市徹, 高松善一: 廃棄物処理施設立地選定評価のための代替案選択支援システムの開発. *環境システム*, 17 (1989) 131-138.
- [5] 古市徹, 田中秀和: 海面埋立処分場の立地選定評価への λ ファジイ測度法の適用. *廃棄物学会誌*, 9-6 (1998) 246-255.
- [6] F. A. Gifford: Use of routine meteorological observations for estimating atmospheric dispersion. *Nuclear Safety*, 2 (1961) 47-51.
- [7] 環境衛生施設整備研究会監修: 日本の廃棄物 2000, (社団法人全国都市清掃会議, 2000) 28-29.
- [8] 環境庁戦略的環境アセスメント総合研究会: 戦略的環境アセスメント総合研究会報告書(2000).
- [9] R.L. Keeney: Using values in operations research. *Operations Research*, 42-5 (1994) 793-813.
- [10] M.W. Merkhofer and R.L. Keeney: A multiattribute utility analysis of alternative sites for the disposal of nuclear waste. *Risk Analysis*, 7 (1987) 173-194.
- [11] 南河内清掃組合, 河内長野市: (仮称)クリーンセンター候補地選定評価業務報告書, (1990).
- [12] T. L. Saaty: *The Analytic Hierarchy Process* (McGraw-Hill, 1980)
- [13] 刀根 薫: ゲーム感覚意思決定法 (日科技連, 1999).
- [14] 田村坦之, 高橋理, 鳩野逸生, 馬野元秀: 階層化意思決定法(AHP)の記述的モデルの提案と選好順位逆転現象の整合的解釈. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 41-2 (1998) 214-228.
- [15] D. B. Turner: A diffusion model for an urban area. *Journal of Applied Meteorology*, 3 (1964) 83-91.

藤田 眞一

財団法人関西環境管理技術センター

〒550-0021 大阪市西区川口2丁目9-10

E-mail: keikaku@ematec.or.jp

田村 坦之

大阪大学 大学院基礎工学研究科

システム人間専攻システム科学分野

〒560-8531 豊中市待兼山町1-3

E-mail: tamura@sys.es.osaka-u.ac.jp

ABSTRACT

**AN APPLICATION OF DESCRIPTIVE ANALYTIC HIERARCHY
PROCESS TO SITING A MUNICIPAL WASTE DISPOSAL PLANT**

Shinichi Fujita
EMATEC Kansai

Hiroyuki Tamura
Osaka University

In this paper, a municipal decision support methodology is proposed to evaluate the location of refuse incineration plant to dispose the municipal waste using the model of descriptive extension of Analytic Hierarchy Process, called D-AHP. In this model, the rank reversal phenomena are legitimately observed and explanatory. The alternative sites of the refuse incineration plant are located in a hypothetical city, and the alternatives are evaluated. The results of the evaluation show that D-AHP is useful for the case when the number of alternatives such as the number of sites of the refuse incineration plant may change.