

IV-7

積雪寒冷住宅地における新エネルギーシステム導入可能性の評価

北海道大学大学院地球環境科学 上田 真代
 北海道大学大学院地球環境科学 正員 加賀屋 誠一

1. はじめに

今日における経済の発展や都市生活の活性化は人々の暮らしを便利で豊かなものへと変貌させると共に、資源・エネルギー需要の拡大を招いてきた。しかし、資源・エネルギーの大量消費は一部地域の環境に止まらず、地球環境さえも脅かし始めている現状にあり、このような環境問題の深刻化の中で、これまでの公害防止といった観点に加え、省資源、省エネルギーを推進した環境への負荷の軽減に一層配慮した都市環境づくりについて検討する必要がある。

特に北海道では、冬期間の厳寒な気象条件のため、各家庭におけるエネルギー消費量が他の地域に比べ高く、エネルギー多消費型の社会を構成している。さらに、今後は都市の活性化や冬期間における快適な生活環境への要求の高まりに伴い、資源・エネルギー需要がより拡大すると予想され、都市の機能を維持しつつ少しでも省エネルギーを推進するシステムの導入が望まれる。

そこで、積雪寒冷地ということ念頭においた快適な生活環境づくりを進めていくにあたって、現行の個別暖房方式に代わる環境に配慮した暖房システムや、氷雪から解放された、冬期間でも快適な活動ができる生活空間の整備が重要となるが、そのためには都市に存在する排熱等の未利用エネルギーを積極的に活用するとともに、地域住民の要求に応えたシステムであるのかが問題となる。

ここでは、寒冷住宅地を対象として、いくつかの都市システムを提案し、それらのシステムの中で、地域の意思決定者である住民がどのようなものを望んでいるのか階層的構造を明確にして、システムの導入の可能性について検討するものである。

2. 調査の方法と内容¹⁾

調査対象地域は、札幌市北区あいの里地区である。地区住民のサンプル数等については、表2.1に示される。また、検討方法と手順は、図2.1に示される。

a) エネルギー選択要因の重要性、および省エネ・リサイクル型都市システム²⁾ 導入について調査し、評価を行うことにした。そこで、エネルギー選択要因と都市の機能を維持しつつ少しでも省エネ・リサイクルを推進するためのシステムを案出した。b) 評価項目については、エネルギー選択要因として、9項目(表2.2)を選択し、二項の内エネルギーを選択する際に、どちらの項目が重要だと考えているかという選択とその強さを問う重み付一対比較を用いて、また、省エネ・リサイクル型都市システムについては、11項目(表2.3)を選択し、それぞれの導入に対する評価を「ぜひ導入すべきだ」「導入すべきだ」「何ともいえない」「あまり導入すべきでない」「導入すべきでない」の5段階の言語変数を用いて、札幌市北区あいの里地区を対象として意識調査を実施した。c) FSM法は、ファジィ従属関係マトリクスを基本とし、いくつかの抽出した要因の階層化を行い、階層間ならびに、階層に属する要因間の従属関係を決定して、それをグラフ表現することを目標とした方法である。ここでは、エネルギー選択要因と都市システム導入の重要度の選好関係をFSM法を用いて決定する。d) 新しいエネルギーシステムの導入の可能性について考察する。

エネルギー選択要因と都市システムの案出

↓
エネルギーと都市システムに関する調査
(対象地域での調査票による意識調査)

↓
FSM法による各評価項目間の構造化

↓
エネルギーシステム導入の可能性の検討

表2.1 回収状況

	一戸建住宅	集合住宅	合計
サンプル数	105	103	208
回収数	58	53	111
回収率	55.2%	51.5%	53.4%

図2.1 検討方法と手順の概要

表2.2 エネルギー選択要因

1	安全性	火災・中毒の危険性が少ない。
2	快適性	室内空気の汚れ・におい等が無く快適である。
3	利便性	取扱が容易で使用場所を選ばない。
4	経済性	安価である。
5	信頼性	エネルギーの供給が安定している。
6	低公害	大気汚染等の公害が少ない。
7	技術性	高級あるいは最新の技術を使っている。
8	普及率	広く普及しており、なじみやすい。
9	器具の外観・操作性	使用器具の外観の良さや操作が簡単であること。

表2.3 都市システムの項目

A	未利用エネルギー活用 地域熱供給システム (地域冷暖房システム)	一定地域内の建物群に対し、冷暖房・給湯の熱源として、清掃工場の排熱や中・下水道処理水の熱等をヒートポンプで回収して導管を通じて供給する。
B	太陽電池・ 自然エネルギー利用発電	石油に代わるエネルギーとして太陽光や風力、波力、地熱、海水温度差、水力等自然エネルギーを利用して発電する。
C	ごみ真空輸送システム	各種ごみを空気輸送により自動的に搬送するシステム。
D	廃棄物循環システム	従来の資源→素材→製品→廃棄の一方通行を廃棄から資源・素材へ戻す。
E	土壌空気浄化システム	植栽を施した土壌層に汚染した空気を通過させ、土壌の物理化学的作用および微生物・植物の代謝作用を利用して空気を浄化する。
F	交通システム	新交通システムや圧縮天然ガス自動車・電気自動車の活用、交通の流れを効率的に行うための情報提供を行うシステム。
G	雪対策システム	流雪槽や融雪槽など。
H	ロードヒーティング	路面温度を上昇させて融雪、氷をとかすシステム。
I	無積雪公園	公園の除雪を行うことによって、冬期間でも屋外で様々なスポーツが楽しめ、子供用の遊具施設やゆとり空間等を設ける。
J	省エネルギー建築	断熱化、太陽熱利用システムの導入、最適運転制御により、建物側のエネルギー需要自体を削減する。
K	都市情報・制御・ 管理システム	都市、地域全体を総合的に管理し、個々の施設・機能のサブシステムを結合させ、都市の効率的な運営を図る。

3. Fuzzy構造化

Fuzzy集合をベースにしたFSMのアルゴリズムについて略述する。^{3) 4)}

a) 要素の関係の定義・得られたファジィ関係従属行列 $A = [a_{ij}]$ は、今要素 s_i と s_j の関係を表わすものと考え、要素 s_i が、要素 s_j にどの程度従属しているか、この場合は、どの程度より重要であるかを表わしている。要素間関係は、次の3つの関係が満たされているものと定義する。(1)ファジィ非反射律 $\forall (s_i, s_j) \in s \times s$ に対して、 $a(s_i, s_j) \leq p$ が満足するならば、ファジィ非反射律が成り立つ。(2)ファジィ非対称律 $\forall (s_i, s_j) \in s \times s, (i \neq j)$ に対して、 $a(s_i, s_j) < p$ あるいは、 $a(s_i, s_j) < p$ の少なくともどちらかが成り立つならば、ファジィ非対称律が成り立つ。(3)ファジィ半推移律 $\forall (s_i, s_j), (s_j,$

s_k), $(s_k, s_i) \in s \times s$ ($i \neq j, j \neq k, k \neq i$) に対して、 $T = \bigvee_{j=1}^n (a(s_j, s_j) \wedge a(s_j, s_k)) \geq p$ のとき、 $a(s_j, s_k) \geq p$ が満足されるならば、ファジィ半推移律が成り立つ。b) 可到達行列・要素 s_i から s_j に向かう有向枝を求め、有向グラフ作成のために、関係従属行列から、各要素間の到達可能性を検討する。この場合、各頂点(各要素)は、それ自身からパスの長さ0で到達可能であるとして、従属行列と、単位行列の和行列を求め、算定する。(ファジィ構造化の場合は、単位行列でなくともしきい値 p と1の間の値でよい。) 可到達行列は、反射的で推移的なファジィ二項関係、すなわち、ファジィ半順序関係を表わしている。c) 可到達行列の分割と抽出・各システム要素の階層性を決定するための方法として、合理的手法が開発されているが、本研究では、従来行われていた要素法によるグラフ作成法をレベル法を新たに導入して、ファジィ代数によるレベル法を開発し、それらの手順によってグラフ化を行った。それらの手順は、次のステップによるものとする。

step-1 最上位レベル集合と、最下位レベル集合の判別得られた可到達行列の各要素に着目し、最上位レベルと、最下位レベルに分割する。また、それらの相互に関連する要素、またどちらにも関連しない要素についても、中間レベル集合、独立レベル集合として定義される。

step-2 最上位レベル集合のグラフサブ集合の決定・可到達行列 A の分割される階層の数と、各階層の最上位レベルを決定する。このために、最下位レベル集合に属する要素が、従属する最上位レベル集合をみつけ、これを要素のブロック $B(s_i)$ とする。

step-3 単一階層行列の作成・step-2で発見されたブロックを用いて、可到達行列に分割する。

step-4 単一階層行列からグラフの作成・ここでは、レベル法によって逐次グラフを作成するものとする。その手順は、次のように考える。

 (1) 出発条件・単一階層行列を A_n とすると、 A_n が与えられたとき、この行列は、行方向に S_H 、列方向に S_v の要素集合を持ち、両方の集合の和 $S = S_H + S_v$ 、階層の全ての要素の集合を表わす。

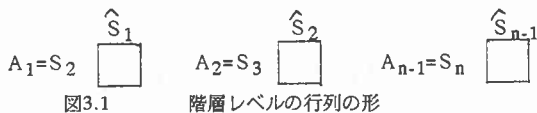
 (2) 複数レベルのサブ集合・階層の各レベルにおいて、そのレベルがある要素を表わす S のサブ集合があるとする。最上位でのサブ集合レベルを S_1 とする。第2位レベルは、 S_2 、以下、最下位レベルのサブ集合 S_n までの集合を考える。それぞれのレベル i ($i=1, 2, \dots, n$) について少なくとも1つ以上の従属する要素があるサブ集合 S_1 を考える。図3.1に示される階層は、 $n-1$ の従属行列からなる。

 (3) レベルのサブ集合の作成・ \hat{S}_1 の作成; \hat{S}_1 は、(1)によって表わされる。

$$\hat{S}_1 = S_H - S_H \cdot S_v \quad (1)$$
 \underline{S}_2 の作成; S_2 は、 \hat{S}_1 の選択された A_n の列を隠し、残った A_n の列の中でしきい値 p 以上の値を含まない行の要素を選択する。 \hat{S}_2 の作成; \hat{S}_2 を決定するために、(2)を計算する。

$$\hat{S}_2 = S_2 \cdot S_H \quad (2)$$
 \underline{S}_j の作成; S_j を決定するために、 $\hat{S}_1 + \hat{S}_2 + \dots + \hat{S}_{j-1}$ の集合によって選ばれた A_n の列の中でしきい値 p 以上の値を含まない行の要素を選択する。 \hat{S}_j の作成; \hat{S}_j を決定するために(2)と同様に、(3)を計算する。

$$\hat{S}_j = S_j \cdot S_H \quad (i=2, 3, \dots, n-1) \quad (3)$$
 S_2, S_3, \dots, S_n のサブ集合と、 $\hat{S}_1, \hat{S}_2, \dots, \hat{S}_{n-1}$ のサブ集合が決定された後、各々の要素によって作成された行列 A_j での要素の関連性によって、階層グラフを作ることができる。



4. 結果と考察

調査結果に基づき、FSM法にしたがって、エネルギー選択要因の重要度、都市システム導入の優先度を住居形式別、性別、年代別にグループ分けし、それらの各属性ごとに求めた構造モデルが図4.1~4.7である。また、

それらの構造モデルの類似性をみるために類似度（=有向枝の共通集合／有向枝の和集合）を用いた。

a) エネルギー選択要因の重要性の構造～1) 全サンプルによる構造（図4.1）…全体的には、安全性、低公害に特に高い重要性が現われている。また、信頼性、経済性も高い位置づけにあり、普及率が最も低い位置にあることがわかる。2) 住居形式による構造（図4.2）…集合住宅の構造モデルでは、安全性が最も上位に、次いで経済性、信頼性、低公害が高く、普及率が最も低い位置づけにあるのに比べ、一戸建住宅の構造モデルでは、安全性、低公害の2つの要因が最も高く、次いで快適性、利便性、経済性、信頼性の4つの要因が高い位置づけに、下位位置には普及率など3つの要因が並んでいる。一戸建住宅の構造は集合住宅の構造に比べ、序列に対する無差別性が高く、同一序列によるエネルギー選択が行われるといえる。3) 性別による構造（図4.3）…男性の構造では、安全性が最も上位に、次いで信頼性、低公害が、普及率、最も下位には器具の外観・操作性の2つの要因が位置付けされている。一方、女性の構造は、安全性、低公害の2つの要因を最も重要とし、次いで、快適性、経済性、信頼性の3つの要因に重要さをおいている。最も下位位置は、普及率である。男女別では、女性の方が序列による無差別性が高く、同一序列によるエネルギーの選択が行われるといえる。4) 年代別による構造（図4.4）…全年代を通じて、安全性は最も上位に、普及率が最も下位に位置付けされているが、30歳代以下と40歳代の構造モデルでは、安全性に加え、低公害に高い重要性が現われており、若い年代の方が低公害を重要視していることが窺える。また、年代の高いグループには、技術性に重要性をおく傾向がみられる。序列に対する無差別性は30歳代以下と50歳代のグループに高く現われている。類似性については、40歳代と60歳代が類似度0.5、次いで30歳代と50歳代の0.35、50歳代と60歳代の0.33と高い値を示しており、各年代間に際立ってエネルギー選択に対する考え方の違いはみられない。

居住形式別、性別、年代別の属性からみた場合でも大きな差異はみられず、エネルギー選択の重要性については、固定的で、共通した考え方をしていると解釈できる。

b) 都市システム導入の優先性の構造～1) 全サンプルによる構造（図4.5）…全体的には、太陽電池・自然エネルギー利用発電、ごみ真空輸送システム、廃棄物循環システム、雪対策システムが上位グループであり、次いで、地域冷暖房システム、省エネルギー建築が位置している。いずれも身近でイメージしやすいシステムといえる。また、最も低い位置づけにある無積雪公園は住宅地ではあまり望まれていないことがわかる。次いで下位に位置する都市情報・制御・管理システムはあまり身近なシステムとはいえないため導入にあまり関心がないと思われる。2) 居住形式別による構造（図4.6）…一戸建住宅、集合住宅に共通して最も上位に位置付けされているのは、太陽電池・自然エネルギー利用発電、廃棄物循環システム、雪対策システムであり、集合住宅は、さらに、ごみ真空輸送システム、地域冷暖房システムを最も上位に加えている。次いで、省エネルギー建築が共通して位置し、一戸建住宅ではロードヒーティング、集合住宅では交通システムをそれぞれ加えている。最も下位に無積雪公園、次いで下位に都市情報・制御・管理システムが共通して位置付けられている。また、集合住宅の方は特に序列に対する無差別性が高く現われている。3) 性別による構造（図4.7）…男女に共通して、太陽電池・自然エネルギー利用発電、廃棄物循環システムの2つのシステムが最も上位に、最も下位に無積雪公園、次いで下位に都市情報・制御・管理システムが位置付けられており、男性はごみ真空輸送システム

を、女性は雪対策システムをそれぞれ最上位に加えている。また、男性が地域冷暖房システムをロードヒーティングよりも優先的に導入すべきであると考えているのに比べ、女性ではその逆の考えを持っている。類似度は0.04で類似性が低く、男性、女性それぞれ独自の考え方を持っていることが分かる。

居住形式別、性別の属性に共通して、太陽電池・自然エネルギー利用発電、廃棄物循環システム、雪対策システムの導入を優先して望んでおり、無積雪公園、都市情報・制御・管理システムの導入はあまり望んでいないことがわかる。また、上位にあげられたシステムを導入する場合でもエネルギーの重要な選択要因である安全性、低公害、信頼性といったものを満たしたシステムでなければ地域の意思決定者である住民には受け入れられず、その導入の可能性はかなり低いものとなる。

5. おわりに

エネルギーシステムについての調査を行い、意識構造を回答のあいまい性に着目して検討してきた。実際のエネルギーシステムの導入についてはこれらの結果を配慮したものが望まれる。提案したシステムが地域住民の意にそぐわないものであってはそのシステムは無意味なものでしかない。今回は住民意識の面からの可能性の評価ということで、実際のエネルギーシステムの導入の評価の第一歩にすぎないが、今後、エネルギーシステムのシュミレーションモデルを構築し、住民意識を組み込んだシステムの評価を行いたいと考えている。

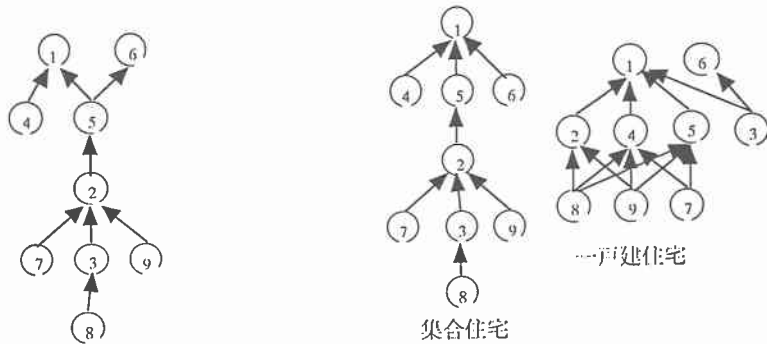


図4.1 エネルギー選択要因の重要性の構造 (全サンプル)

図4.2 エネルギー選択要因の重要性の構造 (住宅形式別)

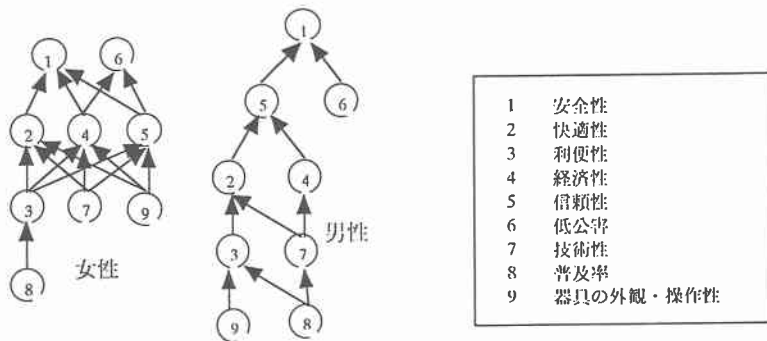


図4.3 エネルギー選択要因の重要性の構造 (性別)

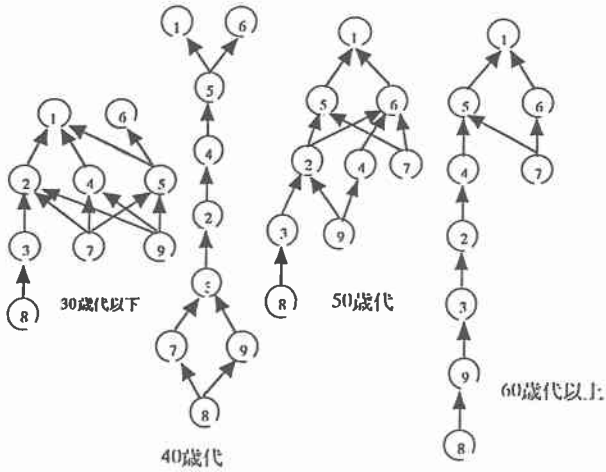


図4.4 エネルギー選択要因の重要性の構造（年代別）

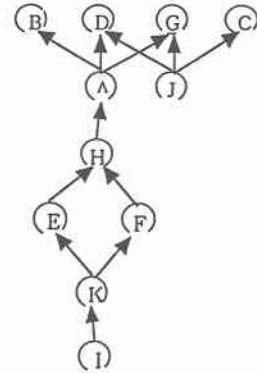
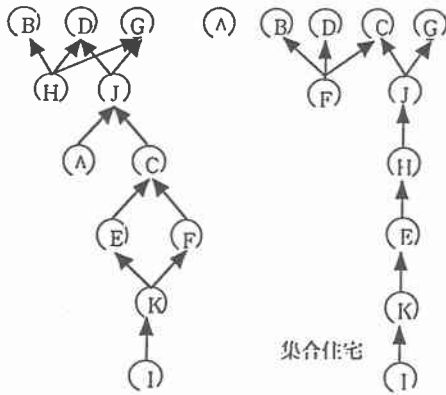
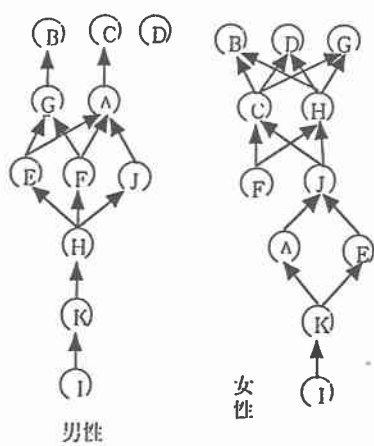


図4.5 都市システムの構造（全サンプル）



一戸建住宅

図4.6 都市システムの構造（住宅形式別）



男性

女性

図4.7 都市システムの構造（性別）

A 未利用エネルギー活用地域熱供給システム（地域冷暖房システム）	C ごみ真空輸送システム
B 太陽電池・自然エネルギー利用発電	E 上層空気浄化システム
D 廃棄物循環システム	G 雪対策システム
F 交通システム	I 無積雪公園
H ロードヒーティング	K 都市情報・制御・管理システム
J 省エネルギー建築	

6. 参考文献

- 1) 加賀屋誠一；地域交通施策の評価方法のための様相性ファジィモデリングの応用に関する研究，平成3～5年度科学研究費補助金〔一般研究(c)〕研究成果報告書（平成6年3月）
- 2) 建設省都市局；環境共生都市づくり－エコシティガイド－，株式会社きょうせい（平成5年），p73-138
- 3) 加賀屋誠一；構造化手法とファジィ逆問題に関する基礎的考察，土木学会北海道支部論文報告集（昭和61年度），pp411-416
- 4) Warfield, j. n. ; On Arranging Elements of a Hierarchy in Graphic Form, IEEE Trans.SMC3-2(1973)pp21-25