

IV—21 寒冷地型都市におけるエネルギー消費に関する研究

—— 札幌市を例として ——

北海道大学大学院環境科学研究科 学生員 本 田 和 人

北海道大学大学院環境科学研究科 正 員 加賀屋 誠 一

北海道大学大学院環境科学研究科 正 員 山 村 悦 夫

1. はじめに

北海道におけるエネルギー消費をみると、他の地域に比べ暖房用のエネルギー消費に大きなウェイトがある。すなわち、冬期間におけるエネルギー消費が多い構造を有している。一方、近年の住宅構造をみると断熱材料および断熱構造を組み合わせた省エネルギー住宅が普及してきている。このような寒冷地における都市のエネルギーを計画の立場でみると、消費するエネルギーを、できるだけ少なくし、かつ、快適な生活を営むといった発想が必要となる。また、そのような観点からの複合的都市エネルギー計画を考えていく必要がある。

本研究においては寒冷地型都市におけるエネルギー計画を考えるために、まず、エネルギー消費量の中で最も多い民生用エネルギー消費、その中でも暖房にかかわる灯油に着目し現在におけるエネルギー消費の問題点と、今後の動向について検討を加えることを目的とする。具体的には札幌市におけるエネルギー消費動向と、それに関わる諸条件について、時系列的な分析を行ない、将来のエネルギー需要予測とエネルギー政策の効果をシミュレーションによって検討するものである。

2. 研究の背景

(1) 札幌市におけるエネルギー消費

図-1、図-2に示すように、札幌市におけるエネルギー消費は、民生用エネルギー消費が全エネルギー消費の約6割強を占めており、その内3分の2強を家庭用エネルギー消費が占め、その内の70%近くが暖房に使われる灯油によって占められているという特徴を有している。

また、札幌市における家庭用エネルギー消費量を図-3に示す全国平均と比べてみると全国の1.5倍強にもなっている。

年	産業	運輸	民生家庭	民生業務
40	15.2	24.2	(40.9) 60.6	(19.7)
50	13.9	24.0	(42.7) 62.1	(19.4)
51	13.0	22.3	(46.8) 64.7	(17.0)
52	12.8	24.9	(43.3) 62.3	(19.0)
53	12.2	24.0	(44.8) 63.8	(19.0)
54	13.3	24.6	(43.0) 62.1	(19.1)
55	12.1	24.9	(44.1) 63.0	(18.0)
56	10.8	25.2	(45.2) 63.9	(18.7)
57	10.4	24.8	(45.5) 64.8	(19.2)

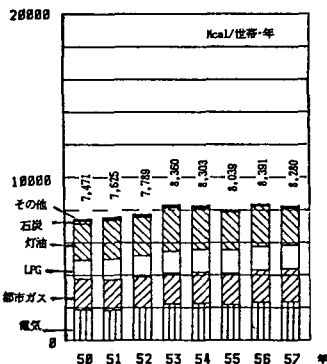
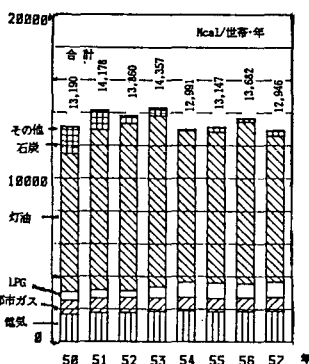


図-1 札幌市経年別部門別エネルギー消費量

図-2 札幌市経年別家庭用エネルギー消費量

図-3 全国経年別家庭用エネルギー消費量

S. 51年以前は石炭も使用されていたが、現在では、そのほとんどが灯油に変わっている。また、電気、LPG、都市ガスについては多少の変動があるにしても、全エネルギー消費量からみて、その変化量は小さい。このような現在の家庭用エネルギー消費動向が、今後も続いていくと考えられる。また、現在のエネルギー消費を種別にみると石油系エネルギーにほぼ100%たよっている。特に冬期消費が多いことを考えると、灯油の消費動向が札幌市におけるエネルギー計画を考えるうえで重要であるといえる。

(2) 札幌市における家庭用灯油消費量の推移

図-4に示したのは札幌市における家庭用灯油消費量の推移である。これをみると、S. 53年まで伸び続けた家庭用灯油消費量はこれ以降安定してきたようにみえる。また、図-5に示した札幌市における一世帯当たり家庭用灯油消費量の推移をみてもS. 54年以降、灯油消費量が減少しているようにみえる。しかし、これらの図に示された値は、家庭用灯油消費量の変化を示しているだけで、その消費量に深く関係している気象要因を考慮していない。ここでは家庭用灯油消費量を気象要因、その中でも外気温に着目し、気象要因による変動を明らかにする。

なお、図-4、図-5で示した家庭用灯油消費量のうちS. 50年とS. 51年については石炭の使用量が、まだ全家庭用エネルギー消費量の約10%も占めているためS. 52年以降の家庭用エネルギー消費構造をもとに灯油消費量を補正した。

(3) 暖房度日の算出

本研究においては外気温との関係を見いだすために暖房度日を用いることとする。

※暖房度日 (heating degree-days)

図-6に示したように、室内気温が暖房によって t_i に保たれ、これと外気温 t_o との差を1暖房期間にわたって集計したものをい

い下記のように算出する。

$$D_{t_i - t_o} = \sum_s (t_i - t_o) \\ = \sum_s \{ (t_i - t_o') + (t_o' - t_o) \} \quad (1)$$

t_i = 暖房基準温度 t_o' = 暖房限界温度
 t_o = 外気温 s = 暖房日数

(1) 式で示される s は、 $t_i > t_o$ となる日数を現わし、 t_o' は外気温 t_o が $t_o' < t_o$ になった時に限り暖房が行なわれることを示す。

外気温を基準とし灯油消費量の変化を見ようとした場合において室内の温度上昇が灯油以外の日射取得熱や光器具、調理等により発生する熱によって上昇することも考慮しなければならない。つまり暖房度日と灯油消費量との関係を見る場合、暖房基準温度は実際値より低くなると考えられる。これらのことを考慮しながら、本研究では t_i と t_o をいろいろと変え、暖房度日と家庭用灯油消費量と

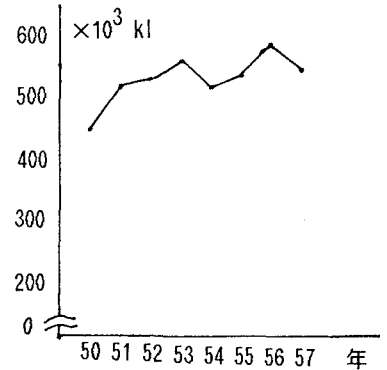


図-4 札幌市家庭用灯油消費量の推移

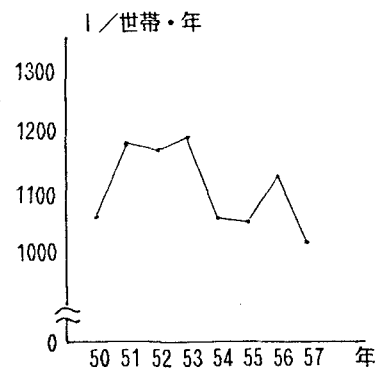


図-5 札幌市一世帯当たり家庭用灯油消費量の推移

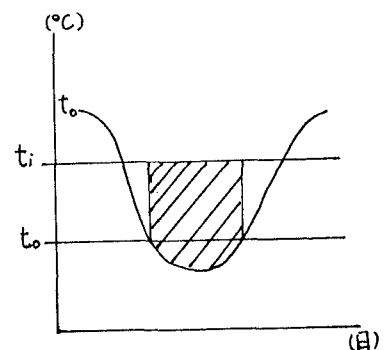


図-6 暖房度日

の間に最も相関関係が強いものを探索した。

その結果、図-7に示した暖房度日 D_{12-12} が家庭用灯油消費量と強い相関関係を示した。

(4) 暖房度日 D_{12-12} と家庭用灯油消費量との関係

図-8は、横軸に暖房度日 D_{12-12} 、縦軸に札幌市における一世帯当たり家庭用灯油消費量をとったものであり・印の上下についた数は年度(昭和)を表わす。

図-8において示したグループ1とグループ2は、グループ1が省エネルギー住宅が普及したS. 53年以前の年を1グループとしたものであり、グループ2は、それ以降の年を1グループとしたものである。なお、S. 55年については、価格の上昇率が他の年に比べ異常に高いために他と異なる消費量を示していると考えられるため、グループから除いた。

①グループ1において回帰により求められた直線

$$Y = 0.53X - 85.9 \quad \text{相関係数} = 0.88$$

②グループ2において回帰により求められた直線

$$Y = 0.56X - 164.9 \quad \text{相関係数} = 0.99$$

③グループ1とグループ2を合わせ回帰により求められた直線

$$Y = 0.56X - 161.6 \quad \text{相関係数} = 0.94$$

このように、グループ1とグループ2は、それぞれ暖房度日 D_{12-12} と家庭用灯油消費量とに強い相関関係があり、また、2つの回帰直線は、ほとんど同じである。そこで、グループ1とグループ2を合わせ回帰すると、この回帰直線も相関係数=0.94と高い値を示す。

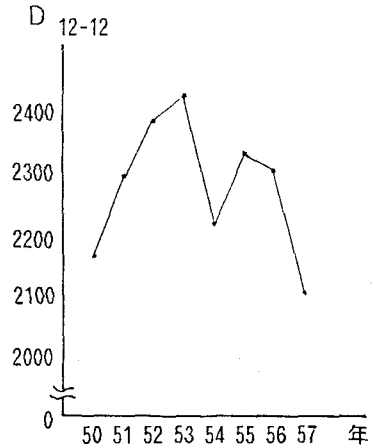


図-7 札幌市経年別
暖房度日(D_{12-12})

— — — — — グループ1の回帰直線
- - - - - グループ2の回帰直線
————— 全体の回帰直線

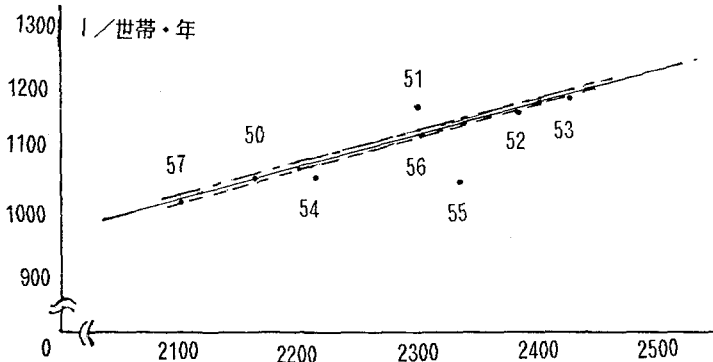


図-8 暖房度日 D_{12-12} と札幌市における一世帯当たり家庭用灯油消費量との関係

(5) 札幌市における省エネルギー住宅の普及について

省エネルギー住宅には種々のタイプがあり、北欧やカナダにみられるような単位面積当たり灯油消費量が従来タイプ住宅の20%以下という高レベルのものから断熱材料をわずかに使用したものまでさまざまである。

北海道においては高断熱基準がS. 55年にもうけられており、このタイプの住宅では単位面積当たり灯油

消費量が従来タイプ住宅の40～60%に減少する。実際に札幌市において建てられている省エネルギー住宅のほとんどが、この高断熱基準に近いものか、それ以下のレベルのものである。

また、省エネルギー住宅の普及をみた場合、低レベルの住宅ではあるが、S. 52年における新築・増改築数の約100%が何らかの省エネルギー住宅になっている。

この現状をふまえ、また、札幌市における住宅の建築確認申請数および、高断熱住宅の融資件数の一般住宅に対する割合を考慮し、従来通りの暖房条件（暖房面積、暖房時間、暖房温度等）に変化がない場合の札幌市における省エネルギー住宅による従来タイプ住宅に対する省エネルギー効果の推定を行なったのが図-9である。

なお、S. 54年以前の新築・増改築住宅については、北海道の高断熱基準以下の低レベルの省エネルギー住宅であること、また、S. 55年以降は北海道の高断熱基準が決められ、高断熱住宅が普及しだしたことを考慮し、寒地住宅開口部研究会が行なった冬の住居内環境性能ランクをもとに省エネルギー効果の推定を行なった。

この結果には、従来タイプ住宅に断熱材料を入れる等の改良を行なった住宅の数は含まれていず、省エネルギー効果は、より高いものであると考えられる。

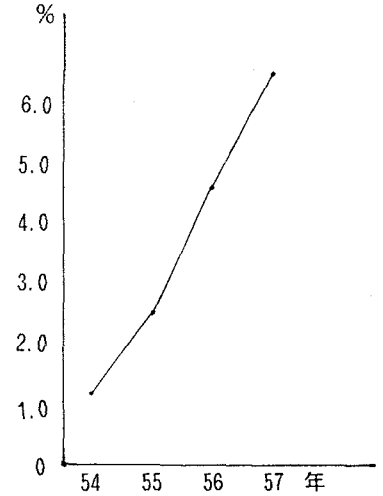


図-9 札幌市における省エネルギー住宅による省エネルギー効果の推定

3. 札幌市における家庭用灯油消費量の将来予測

2. (4) で示されたように家庭用灯油消費量は、気象により大きく変化することがわかった。また、省エネルギー住宅の影響に関しては、2. (5) で示されたように、その効果がでてくるはずであるが2. (4) で示されたように変化が現われていない。これは、省エネルギー効果による灯油消費量の減少分が暖房面積や暖房時間の増加など暖房条件の向上により相殺されているためと考えられる。

そこで今回は、家庭用灯油消費量の将来予測を行なうに際して、この状態が続くと仮定し、原単位の決定については2. (4) の結果をもとに、D の平均値を用いて一世帯当りの灯油消費量を決定した。また、石油ショック等の価格の急激な変化がないと設定した。

その結果が、図-10に示したものである。これで示されるように家庭用灯油消費量は、人口の増加に比例し増えていく。このように将来においても家庭用灯油消費は、札幌市のエネルギー消費に大きな影響を与えられられる。そこで、本研究では、他のエネルギー利用にも着目すべきと考え、ゴミ焼却による余熱利用についてシミュレーションを行った。

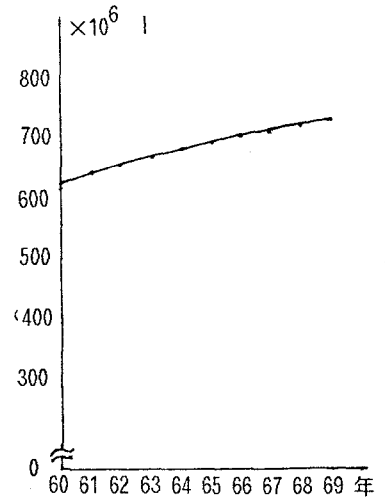


図-10 札幌市家庭用灯油消費量の将来予測

4. ゴミ焼却による余熱利用

(1) 札幌市におけるゴミ量の予測

札幌市において排出される、ゴミの量は現在、年間約90万ton、一世帯当り約1.6tonにのぼる。このように大量に排出されるゴミは、エネルギー源として考えられる。そこで、将来におけるゴミの量を予

測し、その結果を図-11に示した。なお、以下で行なったシミュレーションのゴミ焼却量も記した。

図-11が示すように、将来においてもゴミの量は増え続けると考えられる。

(2) 余熱の暖房利用に関するシミュレーション

現在、札幌市において排出されるゴミの約50%が清掃工場で焼却されている。この際、排出される余熱の暖房利用をシステム・ダイナミックスを用いてシミュレーションを行なう。

今回のシミュレーションで用いる原単位は、現在、住宅に熱供給を行なっている札幌市厚別清掃工場のデータをもとに決定した。また、シミュレーションを行なうに際して、以下に示す6種類のCaseを設定した。なお、今回のシミュレーションは、熱量に関するものであり、暖房期間の設定については北海道地域暖房株式会社の暖房期間を参考にした。

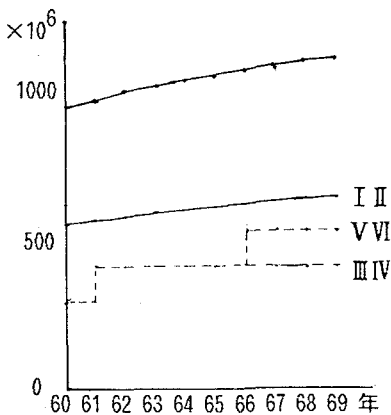


図-11 札幌市における
ゴミ量の将来予測

Case I 札幌市で暖房期間(10月~4月)に排出される全ゴミが全て焼却され、全余熱が暖房に利用された場合

Case II 札幌市で暖房期間に排出される全ゴミが全て焼却され、その全余熱が、札幌市厚別清掃工場が行なっている熱供給の割合で暖房に利用された場合

Case III 現在の札幌市における全清掃工場の全余熱(暖房期間)が暖房に利用された場合

Case IV 現在の札幌市における全清掃工場の全余熱(暖房期間)が、札幌市厚別清掃工場が行なっている熱供給の割合で余熱が暖房に利用された場合

Case V 札幌市厚別清掃工場と同レベルの清掃工場がS. 61年以降、5年ごとに建設され、それらが排出する全余熱(暖房期間)が暖房に利用された場合

Case VI 札幌市厚別清掃工場と同レベルの清掃工場がS. 61年以降、5年ごとに建設され、それらが排出する全余熱(暖房期間)が、札幌市厚別清掃工場が行なっている熱供給の割合で余熱が暖房に利用された場合

シミュレーションによって得られた結果をまとめると、次のようになる。

- ① 余熱の最大利用を設定したCase Iにおいては灯油削減可能率が約3%になった。
- ② Case IとCase Vの値がS. 75年ではほぼ同じ値になった。
- ③ 現状を考慮したCase IVにおいてはS. 61年で全利用可能熱量の約25%を利用することになるが、S. 75年では約20%になる。

余熱利用による最大灯油削減可能率が約3%というのは、全体の量から比べると少ないが、現在の札幌市の世帯数が60万に近いことを考えると、この削減量は大きいと考えられる。

実際に現在、札幌市において余熱暖房に使用されている熱量はCase IVで示されている値の約40%ぐらいにすぎない。余熱暖房に利用できる余熱は

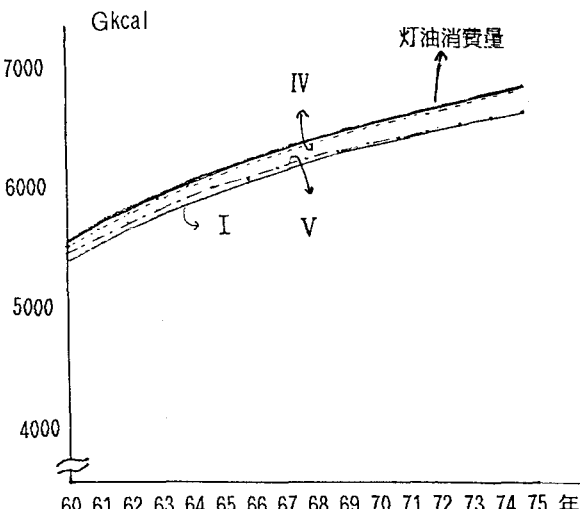


図-12 余熱暖房による灯油削減

まだ十分にある。

現在のゴミの増加量から考えると、Case V・VIの条件ではS. 75年頃には、ゴミの全排出量とゴミ焼却能力が、ほぼ同じになる。

5. まとめ

札幌市のエネルギー消費は、民生部門が主であり、その中でも家庭用灯油消費が与える影響は大きい。このように、札幌市においては冬期間のエネルギー消費に特徴がある。

灯油の消費に関しては、気象要因が関係している。また、近年においては、従来タイプの住宅より単位面積当りの灯油消費量が少ない省エネルギー住宅が普及してきている。しかし、現在は、その影響が現れていない。これは、省エネルギー効果による灯油消費量の減少分が暖房面積や暖房時間の増加など、生活条件の向上に使用され、これによって相殺されているためと考えられる。このことは、エネルギー計画を行なう際、省エネルギー計画は、単にエネルギー消費を減少させるだけではなく、快適性の向上も行なわなければ本当の省エネルギーにはならないということを表している。

将来においても暖房に使用されるエネルギーは、膨大な量であると考えられる。現在では、そのほとんどが石油系エネルギーであり、これからは、他のエネルギーについても模索すべきであると考ええる。そこで、本研究では、ゴミ焼却による余熱利用についてシミュレーションを行なった。その結果、余熱利用については、まだ十分余裕をもっていることがわかった。

今回のシミュレーションでは、熱量によるシミュレーションを行なった。しかし、これは基本モデルであり、需給関係については述べていない。今後は、コストなどをもとに需給関係を含んだ、より高度なモデルを構築していきたい。

〔参考文献〕

- 1) 札幌市企画調整局企画部，株式会社 北海道日建設計；札幌市 省エネルギー都市づくり基本計画策定調査—その1—報告書，1985年3月
- 2) 長谷川寿夫；寒冷地の住居，熱と環境，vol. 9，1985年12月
- 3) 北海道住宅建設促進会；寒地住宅の居住水準に関する調査研究
- 4) 渡辺要；建築計画概論
- 5) 大橋正明；地域エネルギー需給に関する計画学的研究—十勝圏におけるソフトエネルギー導入を中心として，1980年
- 6) 山田耕三；寒冷地域の都心地区におけるエネルギー需給計画に関する研究—札幌市を例にして 1983年