

省エネルギー新都市計画の社会的・経済的評価

Social and Economic Evaluation of New Town Planning Arising from Energy Conservation

山村悦夫*

Etsuo Yamamura

1. はじめに

わが国の大都市圏の都市や地方の中核都市においても大規模なスプロール現象がみられるが、このような現象によって、都市は多エネルギー消費型に進行している。化石燃料の将来的枯渇を考えると、従来のような多エネルギー消費型の都市形態を改革し、当該地域に賦存している自然エネルギーと地域特有の生物エネルギーを活用する新しいコンパクトな省エネルギー新都市のシステム・モデルを開発することが必要である。

このモデルの対象地域として北海道地域で最も自然エネルギーと生物エネルギーの賦存度の高い十勝地域を取り上げた。

はじめに、十勝地域の市町村の社会・経済の実態調査、十勝地域の産業構造の分析、十勝地域のエネルギーの需給の実態調査とエネルギー賦存度実態調査、特に帯広市の詳細なるエネルギーの需給の実態調査とエネルギー賦存度調査、十勝地域の社会、経済、エネルギー、自然環境等のデータの大量情報処理を考察した。

次に、都市のトータル・エネルギー・フローの構造分析、農村のトータル・エネルギー・フローの構造分析、都市・農村別の自然エネルギー、生物エネルギーの用途別活用分析と自足性調査、以上に基づく、都市・農村別の太陽エネルギー、風力エネルギー及びバイオマスエネルギー活用による地域エネルギー需給シミュレーション分析とエネルギー節減及びソフトエネルギー産業発展による地域産業発展について計量的に分析した。

なお、本研究は、昭和55年度から57年度の3年間にわたって文部省科学研究費補助金エネルギー特別研究で研究されたものであるが、残された問題も多い。

たとえば、帯広地域において賦存度の高い深層温泉と他のソフトエネルギーとの複合利用である。すなわち、積雪寒冷地域における地熱を基本とする住宅・建物の断熱、放熱、蓄熱及び熱源といった4つの要素を効果的・経済的にシステム化する分析や、省エネルギー・コンパクト都市の分析等がある。したがって、本報告は、中間的な報告内容となっている。

2. 十勝地域エネルギーの概要

十勝地域は、北海道の東部に位置し、西部は日高山系をはさんで上川・日高地方、北部は大雪山系系をはさんで上川・北見・網走地方に、東部は白糠丘陵をはさんで釧路地方に隣接し、南部は豊頃丘陵をこえて太平洋に望む十勝平野が大きく広がっている。

その面積は10,831km²に及び、全道の約13%、全国の2.9%を占め、東京都、埼玉県及び神奈川県を合わせた面積に匹敵する。地質は、平野の東部から南部にかけては、標高200~800mの白糠丘陵、豊頃丘陵の丘陵性山地で白亜層を基盤とし、北部の山地は標高1,000~2,000mに達する新第三紀層とさらに新しい標高400~1,000mの然別、十勝の熔結凝灰山からなる火山群が分布している。これらに囲まれた標高400m以下が十勝平野である。

平野は、新第三紀鮮新世か又は第四紀洪積世初頭の堆積と考えられる池田層と洪積世の長流枝内層を基盤とし、その上を覆う新、旧の扇状地及び各河川に沿う数段の河岸段丘から形成されている。

十勝地域の気候は、亜寒帯の大陸型気候で、春と秋は短かく、夏は比較的高温で、冬は寒冷ではあるが、日高山系が障壁となって日本海側に比べ積雪量は少なく晴天の日が極めて多い。

十勝地域は1市16町3村からなっており、その中で帯広市が圏域の中心に位置し、文化、経済及び行政面

* 北海道大学大学院環境科学研究科教授

〒060 札幌市北区北10条西5丁目

での中枢管理機能を有し、他の町村と強い相互関係を持ちながら発展している。

十勝地域の人口については、帯広市は着実に増加しているのに対して、町村計は昭和30年をピークに減少を続けている。

また、十勝地域全体でも昭和40年をピークに減少を続け、昭和50年343,206人で昭和46年と比較して0.7%減少したが、この減少傾向も昭和49年を境にして増加に転じ、昭和54年12月現在の人口は356,763人である。

地域別人口分布では、市部人口が昭和50年で141,774人で総人口に占める割合は41.4%で、これは昭和40年の33.3%に対して8.1%の増加となっている。

帯広を含めた周辺3町、芽室町、音更町、幕別町でみると、総人口に占める割合は昭和50年59.3%で、これは昭和40年の49.8%に比べ9.5%の増加となっている。

このように、帯広市及び周辺3町への人口集中化傾向を一層強めている。

昭和53年度エネルギー需要現況をみると、民生用の家庭用が31.1%、業務用が14.6%、鉱工業用が11.4%、農業用が15.0%及び運輸用が27.9%となっており、民生用が高い値を示している。

エネルギー供給としては、電灯・電力9.1%、LPG 3.0%、都市ガス0.9%、ガソリン19.1%、軽油12.3%、灯油37.3%、重油16.7%及び石炭1.6%となっており、灯油が高い値を示している。

十勝地域の電力需要実績としては、昭和54年で41.7%が電灯、14.1%が業務用電力、24.6%が小口電力、14.4%が大口電力、5.2%がその他の電力となっており、十勝地域の産業構造で工業部門の構成の低いのが端的に示されている。

都市ガスについては、総使用量は昭和47年から昭和52年で165%の増加となっており、その利用は、多い方から営業用、家庭用、公用、医療用、そして工業用となっている。

十勝地域のソフトエネルギー賦存度としては、太陽エネルギーで、年間を通じての日照時間は約2,200時間で、晩秋から春にかけて日照時間が多く、暖房の必要な時期であるので利用可能性は高い。

風力については、十勝地域において最も平均風速が大きい大津においても年平均3.2m/Sであるので利用可能性は低い。

十勝地域における林野面積は、全体の67%を占め、この中で私有林の占める割合は32%であるので、バイオマスとしての薪エネルギーの利用可能性も高い。

また、家畜頭数でみると乳用牛では全道の23%を占め約15万頭おり、全道の中でも最も高い値を示しており、これらの家畜から排出されるふん尿によるガス化も期待される。

中小水力については、十勝川の支流が多数ありまだ利用されていない河川が多く利用可能性は高い。

地熱については、この地域において十勝川温泉、然別温泉、トムラワシ温泉地帯が分布しており、高温の温水、蒸気の利用の可能性が高い。

さらに、帯広市は、十勝構造盆地の中央に位置しており、約800m以下の新第三系新統池田層に賦存する大量の温泉水の採取に恵まれた立地条件を有している。この深層温泉は、深度1,000~1,200mで約45~48℃を示し、自噴量が非常に豊富なものである。深層温泉の開発は、昭和52年以降、民間によって進められ、湯湯した温水の一部は浴用に利用されているが、住宅の床暖房等にも利用可能性が高い。

このように、十勝地域は、ソフトエネルギーの賦存度が高く、また家計、民生用の需要が高いので、ソフトエネルギーの代替可能性が高い。

3. ソフトエネルギーを導入した地域エネルギー需給システム分析

ソフトエネルギーは分散的、そして個別的であることが特徴の一つであるので、各最終用途に見合った形においてソフトエネルギーの利用を考えることが必要である。

ここでは、ソフトエネルギー利用についての空間的、資源的な制約からその導入形態、都市型システムと農村型システムに分けて考察した。

(a) 都市型システム

都市型システムは、人口密度が高く、広い空間が確保できないという立地における空間的な制約から、システムを構成する上で種々の制約を受ける。たとえば、風力エネルギーを利用するための風車は、周辺に与える影響から大規模システムの導入は困難であり、廃棄物、バイオマス利用も資源的、環境面での制約がある。

(b) 農村型システム

農村型システムは、都市型システムに比べ立地の空間的制約をある程度緩和して計画でき、資源的、環境面での制約はすくない。たとえば、風力エネルギーについても、風車は独立架台に設置できるので都市型よりも大型なものが導入でき、バイオマスにおいても牛等の家畜の廃棄物や森林資源の活用も可能である。

さて、エネルギーの利用形態からみたソフトエネルギーの利用可能な形としては、熱エネルギーとしては、太陽エネルギー、風力エネルギー、地熱エネルギー、廃棄物、バイオマス等があり、電気エネルギーでは、太陽エネルギー、風力エネルギー、波力エネルギー、水力エネルギー、メタンによる発電等があり、機械エネルギーでは風力エネルギー、水力エネルギー等が考えられる。

これを、現在使用されている化石エネルギーと対比させて使用用途別に代替可能なソフトエネルギーを考えると、太陽エネルギーについては、集熱板によるアクティブ利用と、住宅の構造を太陽熱を取り込めるようにし、地下などに蓄熱を設けるように設計するパッシブ利用がある。

風力エネルギーについては、風車に発電機をとりつけて電気をとり出すもの、風車の回転エネルギーを動力としてとり出すものや熱エネルギーとしてとり出すものがある。

廃棄物は焼却して熱エネルギーをとり出すものとメタン発生装置と組合せてメタンガスをとり出すものがあり、熱エネルギー、電気エネルギーとして利用可能である。ふん尿についても、メタン発生装置と結びついてメタンガスをとり出し、熱エネルギー、電気エネルギーとして利用可能である。

バイオマスとしては、森林資源、海草等から熱エネルギーとして利用可能である。

ここでは、都市型システムと農村型システムに分けて、次のように利用形態を考えた。

<都市型システム>

- 太陽エネルギー→集熱板→暖房・給湯
- 太陽エネルギー→パッシブ利用→熱→暖房
- 風力エネルギー→発電機→電力→照明・動力
- 廃棄物→燃焼→熱→暖房・給湯
- 森林資源→燃焼→熱→暖房・給湯

<農村型システム>

- 太陽エネルギー→集熱板→熱→暖房・給湯
 - 太陽エネルギー→パッシブ利用→熱→暖房
 - 風力エネルギー→発電機→電力→照明・動力
 - 風力エネルギー→機械エネルギー→動力
 - し尿
 - 家畜ふん尿
 - 森林資源
- } → メタン発生装置
- } → 熱→暖房・給湯
- } → 発電機→電力→照明・動力

このモデルでは、地域的な資源の偏在のある地熱と

中小水力についてあつかわず、十勝地域全体に賦存している地域エネルギーを考察した。

この地域エネルギー、モデルの基本的な考えは、上記の都市型システムと農村型システムにおいて各用途別のソフトエネルギーを地域の賦存度に応じてとらえ、これにより、地域エネルギー需要をどれだけ代替できるかを考察する。

この地域エネルギー需給システムモデルは、エネルギー需要セクター、エネルギー供給セクター、汚染セクター、評価セクター、地域環境セクター、ソフトエネルギーセクターよりなっている。

(1) エネルギー需要セクター

このセクターは、次の4つのサブセクターに分けている。

(a) 民生サブセクター

家庭用、業務用に使われているエネルギーで電灯需要、電力需要、都市ガス需要、LPG需要、灯油需要、石炭需要をそれぞれの原単位と人口動態からの一戸建、集合住宅、業務事業所、省エネルギー等を加味して想定した。

(b) 鉱工業サブセクター

鉱工業に使われる電灯需要、電力需要、都市ガス需要、LPG需要、A・B・C重油需要、軽油需要を、それぞれ需要原単位、工業出荷額、省エネルギー率を加味して想定した。

(c) 運輸サブセクター

乗用車、バス、貨物車、鉄道におけるエネルギー需要を、燃料消費、各燃料の発熱量、平均移動距離、各種自動車台数、鉄道については運行距離と延べ運行回数により想定した。

(d) 農業サブセクター

十勝地域の重要な産業は農業であるので、分けて一つのサブシステムを設けた。農業用電力需要を農家消費原単位と農家数、軽油需要を消費原単位とトラクター台数により想定した。

(2) エネルギー供給セクター

電灯・電力については、電灯・電力供給配分量と送電効率によって求めた。石油・石炭供給については、上位レベルによる地域配分量と輸送効率を用いて地域内石油供給量を決定し、さらに各種の石油・石炭構成比率を用いガソリン、軽油、灯油、A・B・C重油、石炭の供給量を決定する。さらに、上位レベルによる地域配分量、輸送効率を用いてガス、LPGの供給を想定した。

(3) 汚染セクター

汚染負荷については、大気汚染を中心として、エネルギー使用に伴うばいじん発生負荷量、SO_x発生負荷量及びNO_x発生負荷量を想定した。

(4) 評価セクター

ここでは、電灯、電力、ガス、LPG、灯油、軽油、A・B・C重油、石炭のそれぞれの需給ギャップと汚染セクターからの削減量、ソフトエネルギーとのコスト比較について評価した。

(5) 地域環境セクター

エネルギー需要の基本となる人口動態と産業構造について考察した。人口動態については、自然増減、社会増減から算定し、これから農村部人口と都市部人口を割り出し、都市における一戸建世帯数、集合住宅世帯数、一方、農家数については、新規農業就業率からの農家増加数と、離農率から求められる農家減少数によって想定した。

(6) ソフトエネルギーセクター

このセクターは、次の3つのサブセクターよりなっている。

(a) 太陽エネルギーサブセクター

日照時間、太陽の方位、角度の地域的特性から太陽定数において地域太陽エネルギー賦存度を算出し、これと集熱板、パッシブ利用の効率、太陽エネルギー利用普及率、利用用途別の割合から算定した。

(b) 風力エネルギーサブセクター

風速・風向についての地域的特性から、地域風力エネルギー賦存度を算定し、発電機をつける場合には、空気密度、風車効率、機械伝達効率、発電機効率、風車回転面積より算定し、機械エネルギーの場合は機械エネルギー効率、熱エネルギーの場合は熱エネルギー効率から算定した。

(c) バイオマスサブセクター

ふん尿・廃棄物利用では、廃棄物原単位、地域別世帯数、ふん尿原単位と家畜種別頭数から、地域ふん尿・廃棄物エネルギー賦存度を算定し、メタン発生原単位、燃焼効率、発電機効率から算定した。森林資源については、リサイクル期間を20年から30年と考え、これと森林利用可能面積から森林資源賦存度を求め、これらからの発熱量よりバイオマスエネルギーを算定した。

以上の条件を前提として、シミュレーション分析を行うと次のとおりである。

昭和60年におけるソフトエネルギー代替可能性とし

て、十勝地域全体では、総エネルギー需要で7.3%、電灯・電力需要で6.0%、灯油需要で12.0%、LPG需要で71.0%及び汚染軽減では6.7%となっている。

都市型の代表としての帯広市のソフトエネルギー代替可能性としては、総エネルギー需要で5.2%、電灯・電力需要で4.1%、灯油需要で8.0%、LPG需要で21.1%となっている。

農村型を代表して浦幌町についてみると、ソフトエネルギー代替可能性としては、総エネルギー需要で12.3%、電灯・電力需要で9.0%、灯油需要で16.1%、LPG需要で305.4%となる。このように、LPGについては需要を満し剰余があるので、これを灯油需要に振り分けると、灯油需要は26.0%、LPG需要は100%代替可能であることが明らかとなった。

以上のように、十勝地域のソフトエネルギー代替可能性としては、対象としているソフトエネルギーとして、太陽エネルギー、風力エネルギー、バイオマスエネルギーに限定されているが、都市型システムより農村型システムにおいて大きい代替可能のあることが明らかとなった。

なお、帯広市では深層温泉が開発された場合には、前述の代替可能性は一層高まるものと思われる。

4. ソフトエネルギーの地域経済的評価

十勝地域はソフトエネルギーによる石油の代替性が高く、その分の消費額が毎年削減できる。すなわち、コンポスト化による肥料の節減額は、毎年120億円、灯油の節減額は毎年34億円、LPG節減額は毎年40億円、と総節減額は毎年194億円となる。

また、ソフトエネルギー産業は中間技術で地域性が高いので、十勝地域の新しい地場産業として立地可能で、それによる雇用効果も期待される。

十勝地域でのソフトエネルギー産業の代替可能性に基づく生産額を考えると、太陽エネルギー投資は500億円、風力エネルギー投資は560億円、バイオマスエネルギー投資は600億円で総投資額は、1,660億円となる。そこで、これらのソフトエネルギー産業が十勝地域に立地したとして、1981年から1985年の5年間で生産されるとすると年間約332億円となる。

この生産による総波及雇用機会を次の地域間産業連関表を用いた計測方法で求める。

この計測方法では、産業立地による影響を直接波及雇用機会と間接波及雇用機会に分けて計測され、後に合計される方法がとられている。

そこで計測方法の定式化は次のとおりである。

A : 地域間投入係数行列

I : 単位行列

S : 立地産業以外の産業から立地産業への年間投入額が対角要素となる行列

D : 立地産業への年間投入額が列要素となる行列

R : 就業者原単位行列

N : 産業部門の数

M : 地域の数

総波及雇用機会行列Xは次の式より求められる。

$$\begin{aligned} X &= D \times R + A \cdot S \times R + A^2 \cdot S \times R + \dots \\ &= D \times R + [I + A + \dots] A \cdot S \times R \\ &= D \times R + [I - A]^{-1} \cdot A \cdot S \times R \end{aligned}$$

ここで、上式のD×R式は立地産業の投入額によって生ずる一次波及で、直接波及雇用機会を示している。

次に、上式の $[I - A]^{-1} \cdot A \cdot S \times R$ は二次波及以上の高次の波及の総和で、間接波及雇用機会を示している。

ただし、×の積は次の演算である。

$$X_i^{k'} = \sum_k^M d_{ij}^{k'k} \cdot r_i^{k'} + \sum_k^M s_{ik}^{k'} \cdot a_{ij}^{k'k} \cdot r_i^{k'}$$

(i, j = 1, …, N, k, k' = 1, …, M)

次に、実際にこの計測方法の適用にあたっては、将来の目標年次の地域間投入係数と就業者原単位が算出されなければならない。

従来、投入係数の予測ではRAS方式が用いられているが、ここでは、このRAS方式の欠点である代替変化修正係数Rと加工度変化修正係数Sの不均等性を改良し、収束計算の迅速性を加味した改良RAS方式が用いられる。

この計測方法による結果では、十勝地域での第3次産業の総波及雇用機会は、1,100人、第2次産業の総波及雇用機会は、1,700人で十勝地域の現在の第2次産業の就業者の7.3%にあたることが明らかとなった。

5. おわりに

以上のように、十勝地域のソフトエネルギー代替可能性としては、対象としているソフトエネルギーとして、太陽エネルギー、風力エネルギー、バイオマスエネルギーに限定はされているが、都市型より農村型においてより大きい代替可能性があることが明らかとなった。また、ソフトエネルギーによる石油の代替性が高く、その分の消費額が毎年削減され、さらに、ソフトエネルギー産業の立地により、新しい地場産業が形

成され、それによる雇用効果も、電気、機械を中心として創出され、製造業の比率の低い十勝地域の発展に寄与することが明らかとなった。

十勝地域の農家へのソフトエネルギー導入についての意識調査においても条件が整えられれば、ソフトエネルギー導入の意志が強く、今後の住宅、農家施設の省エネルギー化と合わせてソフトエネルギーの導入の効果が高いことが明らかとなった。

しかし、研究で残された問題も多く、深層温泉の利用と他のソフトエネルギーとの複合利用と、コンパクト耐寒耐雪都市の形成など今後の研究が期待される。

参 考 文 献

- 1) 山村悦夫; 地域均衡発展論 (1977), 大明堂。
- 2) 山村悦夫; 新体系土木工学53 地域計画(1)―計画の分析(1979), 技報堂。
- 3) 山村悦夫; 地域計画論 (1980), 大明堂。
- 4) 山村悦夫, 加賀屋誠一, 大橋正明; ソフトエネルギーを考慮した地域計画策定に関する研究―十勝圏を例として―, 土木学会北海道支部論文報告集, No.37 (1981), 325~330。
- 5) 帯広市民公室企画調整課; 帯広市のエネルギー資源に関する基礎調査報告書 (1981), 帯広市役所。
- 6) 山村悦夫, 加賀屋誠一; 地域エネルギー需給シミュレーション分析―十勝地域におけるソフトエネルギー導入を中心として, シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス (1981), 267~270。
- 7) Yamamura, E., Kagaya, S; A Study on the Economic and Environmental Evaluation of Regional Energy arising from a Soft Energy Path, Seventh Pacific Regional Science Conference, Australia (1981), 1~21。
- 8) 山村悦夫, 大橋正明; ソフトエネルギーを考慮した地域エネルギー・システム分析(I)―十勝地域を例として, 土木学会第36回年次学術講演会概要集, No.36 (1981), 237~238。
- 9) 山村悦夫, 加賀屋誠一, 稲市信宏; 経済性と住民意識構造を考慮した地域エネルギー・システム分析―十勝の3町村を例として―, 土木学会北海道支部論文報告集, No.38 (1982), 311~316。
- 10) 山村悦夫; ソフトエネルギーを考慮した地域エネルギー・システム分析(II)―十勝地域を例として―, 土木学会第37回年次学術講演会講演概要集, No.37 (1982), 207~208。
- 11) 山村悦夫; 省エネとソフト・エネの活用による北海道開発, けんせつ北海道, No.7 (1982), 12~18。
- 12) 山村悦夫, 加賀屋誠一, 小田利勝; 省エネルギー新都市計画の社会的・経済的評価に関する研究報告書 (1983), 北海道大学大学院環境科学研究科地域計画学研究室。
- 13) 山村悦夫; ソフトエネルギーを考慮した地域エネルギー・システム分析(III)―十勝地域を例として―, 土木学会第38回年次学術講演会講演概要集, No.38 (1983), 211~212。