

Ⅳ— 7 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 ——

北海道大学大学院環境科学研究科 正員 山 村 悦 夫

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 ○ 大 橋 正 明

1. は し め に

1973年の石油危機以来、エネルギーの社会的・経済的役割が大きくクローズアップされて来た。そして具体的には、政府レベルの長期エネルギー需給暫定見通しなどに見られるように省エネルギー強化による輸入資源の減少などの今後の目標が示されて来るようになった。省エネルギーの方法としては、①各産業における資源・エネルギー消費原単位の低下、②製品利用の面での省資源、省エネルギー、③資源のリサイクルの促進、④資源エネルギー多消費型産業の縮小等が上げられるが、現在主流となっている化石燃量の使用、原子力利用等の従来の利用追従型では、省エネルギーを徹底したとしてもなお立地、環境面において問題がある。さらに、石油、LPG等の化石燃量は有限であり、遅かれ早かれ枯渇すると言われている。従って長期的に考えると、石油等の化石燃量に代わるエネルギーの開発技術を推進させる必要がある。一方、エネルギー問題は、地域の単位で考えると、従来では地域外依存型の要素が強かった。すなわち、石油供給システムを例とすると、各国から輸入された原油は、石油精製工場を介して各種の石油となり、各地域における基地に輸送され、さらに地域内のいくつかのルートを通じて消費者に供給されて来た。これに対して、地域内、例えばビルや工場、農家等で効率の上昇、自給エネルギーの獲得を考え、化石燃量によるエネルギーに代わるエネルギーを追求する地域内需給均衡型を考えることが必要となって来ている。

本研究においては、以上の背景から、代替エネルギーの一端を担うものとしてソフトエネルギーをとり上げ、地域エネルギー需給の問題を、環境経済的側面と、ソフトエネルギーの側面から評価し、検討を加えるものである。

2. ソフトエネルギーの地域性

ソフトエネルギーは、A・ロビンズがその著書「ソフトエネルギー・パス」で提唱したもので、これから引用すると、その特長は以下の点に要約される。ソフトエネルギー技術とは、(1)使おうが使うまいが常にそこにある太陽、風、植物といった再生可能なエネルギーのフローに依存する。枯渇するエネルギー資本でなく、エネルギー所得に依存する。(2)この技術は、分散的である。それぞれの状況に応じて最も効率的に設計された小さなエネルギー供給単位による供給の集合によって成り立っている。(3)この技術は、弾力的でかつ相対的に低い技術である。低い技術とは、理解が容易で利用しやすく近づきやすい技術である。(4)この技術は、最終エネルギー需要の規模と、地理的分布に適合しており、ほとんどの自然エネルギーの流れをただで利用するものである。(5)この技術は最終需要の用途に対応したエネルギーの質に見合ったものである。この考えに基づいて、利用可能なソフトエネルギーを空間的なスケールで分類すると表-1のようになる。

さて、従来の利用追従型エネルギー供給システムにおいては、大規模な形で供給するために、エネルギーの配分、輸送、転換の様々な過程においてエネルギーロスが大きくなる。さらに、化石燃量は再生不可能であることから、資源を得るためには、地中深く掘らねばならず、これに要する費用が化石燃量価格に上積みされ、価格が高騰していく。これに対してソフトエネルギーは、各地域の特色に応じて、消費地で必要なスケールのエネルギーが地域に適合した形で供給されるので、エネルギーロスが少なくなるのであ

る。今後は、エネルギーの必要量を単に予測して、これを充足するために供給量を増やすという観点ではなく、地域の住民自身が自分の住む家、近隣住区での日常生活において必要とするエネルギーを、各用途に見合った形において確保する努力が必要となる。このような要請に適合するのがソフトエネルギーである。

本研究では、エネルギーフローのトータルシステムにおいて、特に人間活動の面、すなわちエネルギーの社会的環境に与える影響の相互関連性について考察するものである。以上の観点から本研究では、次のような手順を検討するものとする。

- (1) エネルギーシステムの構造および機能を明らかにすること。
- (2) 地域エネルギー需給モデルによるエネルギーの将来予測を行なうこと。
- (3) 地域の人口動態、ソフトエネルギー賦存度を検討すること。
- (4) ソフトエネルギー賦存度から、ソフトエネルギーを導入した場合のエネルギーの将来予測を行なうこと。
- (5) 環境・経済的側面から評価すること。

以上のことを行なうために、地域エネルギー需給システムモデルを構築した。

	都 府 県	市 街 地	地 区	近 隣 住 区	家	個 人
ソフトエネルギー	地 熱	・地熱発電による送電 ・地熱発電による電力利用	・地熱発電（井戸） ・地熱による地域暖房	・地熱による温水利用（井戸） ・地熱による温水利用	・地熱による温水利用	・地熱発電等のソフトウェア理解
	水 力	・水力による大規模発電（川、ダム、発電機）	・中小河川による発電			
	風 力	・風力発電による送電 ・風力発電による電力利用（大型風車、発電機）	・風力発電による電力利用（風車、発電機）	・風力発電による暖房（風車、発電機） ・風車による動力利用（風車、ポンプ）	・風力発電 ・風力発電による温水利用（風車、発電機）	・風車等のソフトウェア理解
	波 力		・波力発電による電力利用			
	太陽熱	・太陽熱発電による電力利用	・太陽熱発電による電力利用 ・太陽電池による電力利用	・太陽熱による温水利用（集熱板） ・太陽熱発電による照明動力利用	・太陽熱による暖房（集熱板、ポンプ） ・太陽熱による温水利用	・集熱板、ポンプ利用等のソフトウェア理解
	バイオマス	・バイオマスによる熱利用（バイオマス・ボイラー）	・バイオマスによる電力利用（バイオマス・発電機） ・廃棄物による熱利用（焼却炉、ボイラー） ・廃棄物による発電（焼却炉、発電機）	・バイオマスによる電力利用 ・し尿による熱利用（メタン発生装置） ・廃棄物による熱利用	・バイオマスによる電力利用 ・し尿による熱利用	・メタン発生装置等のソフトウェア理解

表 ー 1 スケール別ソフトエネルギー

3. 地域エネルギー需給システムモデル

本研究においては、エネルギーのリアルシステムの中からシステム要素を抽出し、各機能の地域的評価のためにそれぞれの代表的指標を設定し、その変化を分析・評価する。図ー 1 は全体のシステム構成である。本モデルは、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・環境セクターより成る。

(1) エネルギー需要セクター

このセクターは、エネルギー需要を次の 4 つのサブシステムにより表わす。

(a) 家計・民生サブシステム

家計用、民生用に使われているエネルギーの中で、電灯需要、電力需要、都市ガス需要、LPG 需要、灯油需要をそれぞれの原単位と、人口動態からの一戸建世帯数、集合住宅世帯数、省エネルギー率より算定し、これにそれぞれの熱変換係数をかけてカロリーの単位で表わす。

(b) 生産サブシステム

生産に使われる電灯需要、電力需要、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、省エネルギー率、工業出荷額より算定し、これに熱変換係数をかけてカロリーの単位で表わす。

(c) 運輸サブシステム

乗用車、バス、貨物車、鉄道におけるエネルギー需要を、燃量消費率、各燃量の発熱量、平均移動距離、各種自動車台数、鉄道については運行距離、延べ運行台数により算定し、カロリーで表わす。

(d) 農業サブシステム

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算定し熱変換係数をかけてカロリーで表わす。

(2) エネルギー供給セクター

電灯・電力については、電灯・電力供給量を電灯・電力供給配分量と送電効率によって求める。石油供給については、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、さらに各種の石油構成比率を用い、ガソリン、軽油、灯油、A・B・C重油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供給量を算定する。

(3) 汚染セクター

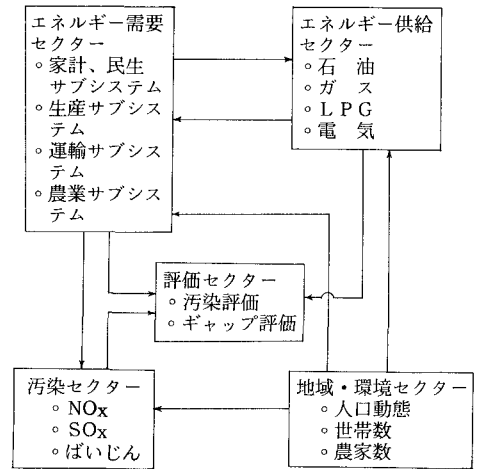
汚染負荷については、エネルギー使用に供なうばいじん発生負荷量、SO_x発生負荷量、及びNO_x発生負荷量を算定する。

(4) 評価セクター

ここでは、電力、電力、ガス、LPG、灯油、軽油、A重油、B重油、C重油のそれぞれの需給ギャップと、汚染セクターからの発生量について評価する。

(5) 地域・環境セクター

エネルギー需給の基本にすえるものとしての人口動態と、これから派生する農家数、非農業世帯数についてここでは考える。人口動態については、自然増、自然減、社会増、社会減から算定し、これから農村部人口、都市部人口を割り出して、都市における一戸建世帯数、集合住宅世帯数を算出する。一方農家数については、新規農業従業率からの農家増加数と、離職率から求められる農家減少数によって算定する。



図ー1 地域エネルギー需給モデルの構成

4. ソフトエネルギーを導入したモデル

前述した通り、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。各最終用途に見合った形においてソフトエネルギーを使用するためには、様々な組み合わせが考えられる。ここでは、ソフトエネルギー利用についての空間的・面積的な制約からその導入形態を都市型システムと農村型システムに分けて考えてみることにする。

(a) 都市型システムの特徴

都市型システムは、その立地地域における空間的制約（広いスペースが確保できない、人口密度が高い等）からシステムを構成する上で種々の制約を受ける。基本的にはエネルギー面での自律を主体とするものである。都市型システムを構成する上での特徴は、

- ① 太陽エネルギー、風力エネルギー、廃棄物を利用し、エネルギー面での自律を考える。
- ② 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力所の空間的制約をある程度緩和して計画できることがその特徴となる。又、風力エネルギーについても、風車は独立架台に設置することにより都市型よりも大型のものを導入できる。

さて、エネルギーの利用形態から見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、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、機械エネルギーでは、風力エネルギー、水力エネルギーが考えられる。これを、現在使われている化石エネルギーと対比させ使用用途別に代替可能なソフトエネルギーをあげたのが表－2である。太陽エネルギーには、大きく分けて、集熱板による方式と、パッシブ利用がある。パッシブ利用とは、家の構造を、太陽熱を取り込みやすいように設計し、地下などに蓄熱器をもうけるものである。風力エネルギーは、風車に発電機をとりつけて電気として取り出すものと、風車の回転エネルギーを動力として取り出すものがある。廃棄物は焼却して熱として取り出すものと、メタン発生装置と組合わせてメタンガスを取り出すものがある。し尿については、メタン発生装置と結びつけてメタンガスを取り出す方法がある。バイオマスは、海草からのガスを取り出す方法、森林資源を利用する方法等がある。

用 途	従来型	代替可能なソフトエネルギー
暖 房	灯油・ガス L P G	・太陽エネルギー ・地 熱 ・風力エネルギー ・廃棄物・し尿 ・バイオマス ・メタン化
給 湯	ガス・LPG 電気	・太陽エネルギー ・地 熱 ・風力エネルギー ・廃棄物・し尿 ・バイオマス ・メタン化
照 明	電気	・太陽エネルギー ・風力エネルギー ・水力エネルギー
動 力	電気	・太陽エネルギー ・風力エネルギー ・水力エネルギー

表－2 から、都市型システムにおいては、

- ・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→暖房・給湯
- ・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
- ・地 熱→暖房・給湯

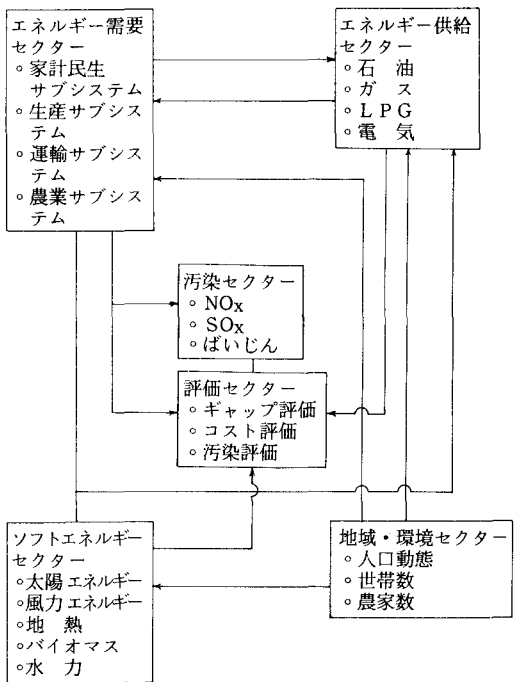
又、農村システムにおいては、

- ・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→暖房・給湯
- ・風力エネルギー→発電機→電力→照明・動力
- ・風力エネルギー→風車→機械エネルギー→動力
- ・廃棄物→燃焼→熱→暖房・給湯
- ・し 尿 →メタン発生装置→熱→暖房・給湯
- ・家畜ふん尿 →発電機 →電力→照明・動力
- ・森林資源→燃焼→熱→暖房・給湯
- ・地 熱→暖房・給湯
- ・水力エネルギー→発電機→電力→照明・動力

という使用用途が最も現実的である。

本研究では、ソフトエネルギーを導入した地域エネルギーモデルを構築した。このエネルギーモデルの基本的な考えは以下の様である。すなわち、

表－2 用途別ソフトエネルギー代替可能性



図－2 ソフトエネルギーを導入したモデル

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レイト量としてとらえ、これにより地域エネルギー需給をコントロールできると考える。またこう考えることは、地域エネルギーをその地域性に応じたソフトエネルギー賦存度により評価し活用する、地域内需給均衡型システムへのアプローチの一つである。モデルの構成は図-2に示されたものだが、基本的には前述の地域エネルギー需給モデルと同じで、これにソフトエネルギーセクターを加えたものである。

ソフトエネルギーセクターでは各ソフトエネルギーを次のようにして算定する。

(1) 太陽エネルギー

日照時間、太陽の方位、角度の地域的特性から、太陽定数によって地域太陽エネルギー賦存度を算定し、これと、集熱板、パンプ利用の効率、太陽エネルギー普及率、利用用途別の割合から算定する。

(2) 風力エネルギー

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、風車回転面面積、機械エネルギーの場合は、機械エネルギー効率から算定する。

(3) し尿・廃棄物

し尿原単位、廃棄物原単位と地域別世帯数、ふん尿原単位と家畜頭数から、地域し尿・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、最終効率から算定する。

(4) バイオマス

森林資源については、リサイクル期間を20～30年と考え、これと森林面積から森林資源賦存度を算定し、これの発熱量からバイオマスエネルギーを算定する。又、有機物（BOD）からメタンが50～60%が採取できる。

(5) 地熱

地域地熱エネルギー賦存度と、発電機効率、伝達効率により算定する。

(6) 水力エネルギー

中小河川においての水位、流量、降雨量により地域水力エネルギー賦存度を算定し、発電機効率から水力エネルギーを算定する。

5. 対象地域 十勝圏

本研究においては、以上のモデルの対象地域を十勝圏に設定した。十勝圏は、日照時間が年間最大で2650時間～2045時間の範囲で分布しており、北海道で最も多い。さらに晴天日数210日、降雨量927mm/年、年平均気温5.9℃と、日照時間、晴天日数に恵まれ、月別日照時間は、夏よりも冬が多いので、太陽エネルギーを利用するには最適である。一方風は、全年平均で、 $1.1\text{ m/s} \sim 3.2\text{ m/s}$ で、北海道における平均風速が最大の寿都町の年平均 6.1 m/s と比べると少ないが、十勝圏の中では最大の浦幌町大津は年平均 3.2 m/s である。従って十勝圏においては、風力エネルギーの活用はあまり期待できない。次に地熱については、十勝川温泉（音更町）、然別温泉（鹿追町）、トムラウシ温泉（新得町）、芽登温泉（足寄町）などを中心とする温泉地帯が分布しており、地熱利用が有望である。又、森林資源も豊かであり、バイオマスの利用も十分に考えられる。

本研究では、十勝圏の1市19町村に、十勝圏のエネルギーに関する調査票を送り、各市町村管内で使われている電灯、電力、灯油、LPG、ガス、A・B・C重油、揮発油についての調査を行なった。これをベースにして、前述の地域エネルギー需給モデルと、ソフトエネルギーを導入した地域エネルギーモデルを各市町村毎に構築し、市町村の特色を織り込んだ。太陽エネルギー、風力エネルギー、廃棄物・し尿については、各市町村毎に利用し、地熱、森林資源については、利用可能な町村のみで扱うものとした。ま

た、ソフトエネルギーによってエネルギー需給をコントロールするのは、家計・民生サブシステムのみと考へた。さらに、ソフトエネルギーの導入については、次のシナリオに従がった。

(1) 都市型システム

(a) 太陽エネルギー

◦集熱板型

十勝圏の都市部の全ての家に集熱板（1枚はほぼ $1\text{ m} \times 2\text{ m}$ ）を4枚とりつけ、利用用途は、給湯・暖房である。

◦パッシブ利用

新築の家をパッシブ利用とする。利用用途は暖房である。

(b) 風力エネルギー

十勝圏の都市部の全ての家に発電機付きの風車を2基（直径 2.5 m ）すえるものとする。利用用途は照明動力である。

(c) 廃棄物

各市町村をいくつかの地区に分け、そこで廃棄物を焼却する。利用用途は地域暖房である。

(2) 農村型システム

(a) 太陽エネルギー

十勝圏の全ての農家に集熱板を8枚とりつける。利用用途は、給湯・暖房である。パッシブ利用については都市型と同じである。

(b) 風力エネルギー

十勝圏の全ての農家に発電機付きの風車を2基（直径 3.5 m ）すえるものとし、利用用途は、照明、動力、機械エネルギーとする。

(c) し尿・家畜ふん尿

十勝圏の各農家において、し尿、ふん尿をメタン発生装置と結んでメタンを発生させ、これを炊事、又発電機と結んで、電気エネルギーとして取り出し、照明・動力として使う。廃棄物は焼却して暖房に使う。

6. お わ り に

ソフトエネルギーは、各地域の賦存度に依存し、一定程度のものしか得られないという大きな欠点があるが、エネルギー面における自律は今後も大きな課題となろう。本モデルは、地域エネルギーシステムを動的的に追うことを目的としたものである。本研究は、エネルギー需給の面を主に扱ったが、さらにエネルギーの質、立地等の問題の解決について模索したい。最後に本研究を進めるに当たり御指導いただいた北大環境科学研究科の関清秀教授、小田利勝助手に謹しんで感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 山村 悦夫 新大系土木工学53「地域計画(I)―計画の分析」技報堂出版 1979年
- 2) A・ロビンス 「ソフトエネルギー・パス―永続平和への道」時事通信社 昭和54年
- 3) B・コモナー 「エネルギー―危機の実態と展望」時事通信社 昭和52年
- 4) 押田 勇雄 「太陽エネルギー」生産技術センター新社 昭和50年
- 5) 本間 琢也 「風力エネルギー読本」オーム社 昭和54年