



Title	北海道のエネルギーシステムに関する研究 (I) : その最初の試み ; モデル I
Author(s)	長谷川, 淳; Hasegawa, Jun; 西谷, 健一 他
Citation	北海道大學工学部研究報告, 83, 89-99
Issue Date	1977-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41401
Type	departmental bulletin paper
File Information	83_89-100.pdf



北海道のエネルギーシステムに関する研究 (I)

—その最初の試み; モデル I—

長谷川 淳* 西谷健一* 村井国昭** 佐藤義則**

(昭和51年9月27日受理)

Studies on the Energy System of Hokkaido; Part I

--First Attempt; Model-I--

Jun HASEGAWA, Ken-ichi NISHIYA, Kuniaki MURAI and Yoshinori SATOH

(Received September 27, 1976)

Abstract

Recently, the importance of the energy problem had been recognized from all directions, and a variety of discussions have been carried out from international, national and regional viewpoints. The energy problem has a multitude of factors, which requires a systems approach.

The authors have been conducting work on the energy system of Hokkaido, and in this paper, their first modeling effort was discussed.

The present system model developed by the authors, Model-I, was constructed for analyses of the present situation and of the optimum structure of the energy system of Hokkaido. Model-I is a static, linear programming model which ignores dynamic behaviour in the energy system. This linear programming model has 192 variables, 46 equality constraints and 28 inequality constraints with a density of about 6 percent.

The effects of energy systems of other regions, the economic systems, the environmental systems and the social systems, to the energy system of Hokkaido, are dealt with exogenously in Model-I.

This paper is part of a series of studies followed by Part II (Various data and their basis) and Part III (Simulations by Model-I).

1. 緒 言

この数年来、特に昭和48年秋以降のいわゆる石油危機を契機として、増大する一方のエネルギー需要と、従来よりのエネルギー資源の有限性に対する認識とから、エネルギー問題の重要性が各方面でさげばれ、国際的、国家的あるいは地域的規模にわたった議論がなされてきている。

“エネルギー問題”という語句により表現される問題領域は非常に多方面にわたっており、各個人が立脚する意識基盤に依存して種々のとらえ方をされているが、工学的な領域に的を絞ると、エネルギー問題の研究には大別して2つの方向がある。1つは、増大するエネルギー需要をまかなうために、豊富な、あるいは枯渇する恐れのない、新しいエネルギー資源利用技術の開発

* 電気工学科 電力工学講座

** 苫小牧工業高等専門学校 電気工学科

を目指す研究である。これには、太陽エネルギー利用技術、地熱エネルギー利用技術、増殖炉技術、核融合技術、石炭のクリーン燃料化技術等、各国が国家的プロジェクトとして取組んでいる諸技術に関する研究が含まれる。他の1つは、エネルギー需要の増大を出来るだけおさえることを目的とした、エネルギー有効利用に関する研究である。これには、エネルギーの変換、輸送、利用に際する効率の改善および高効率の新技术の開発に関する研究や、エネルギー貯蔵技術、廃棄エネルギーの回収技術、資源リサイクリング技術等の研究はもちろんのこと、本研究で取扱っているように、エネルギーシステム全体としての効率化、最適化を目指す研究が含まれる。この両方向の研究は、いわば車の両輪であり、いずれか一方が欠けても、エネルギー問題の真の解決とはなり得ない。特に後者は、前者に比べると地味な研究とみなされ、ともすれば軽視されがちであるが、人類のエネルギー消費を最終的に制約すると考えられる熱汚染の問題がある以上、利用可能なエネルギー資源量がたとえ無限大であったとしても、解決しなければならない重要課題である。

筆者等は、後者の方向に属する研究として、北海道のエネルギーシステムに関する基礎的な検討を行っている¹⁾²⁾が、本論文は、北海道のエネルギーシステムに対して、その最初の試みとして作成したモデル（モデル I）について述べたものである。

2. 本研究の目標と当面の目的

エネルギー需要と経済活動とは非常に密接な関係があり、エネルギー需要の伸びの鈍化は経済活動の沈滞に結びつきがちである。しかし、いかなる規模においても、長期に亘る経済活動の沈滞は決して容認できるものではない。それ故、エネルギー需要の伸びの鈍化と経済活動の一層の伸びとを両立させる何らかの方策が、ぜひとも見い出されねばならないし、それは不可能なことではない。またエネルギー需要は環境問題とも非常に密接な関係を有しており、エネルギー需要の増大は環境の悪化を加速しがちである。しかし、エネルギー需要の増大と環境保全との両立も、決して不可能なことではない。これらの結論は、従来のエネルギー需要構造にはかなり無駄をしている部分や適切さを欠く部分が有る事実を認識することにより、容易に到達でき、またその際の有力な武器となるものはシステムの考察である。

エネルギー源の供給からエネルギー最終需要までを1つのシステム（エネルギーシステム）としてとらえ、これを解析するとともに、社会、経済、環境とのかかわり合いを詳細に把握し、エネルギーシステムのあるべき姿やエネルギー政策の在り方を探求しようとする試みは、米国、西欧諸国、日本等において、種々の立場や観点から数多くなされておられ、それぞれかなりの成果をあげてきている³⁻⁷⁾。これらの試みの多くは、国際的ないしは国家的規模にたったものである。もちろん、国のエネルギー政策の検討に資するためには、こうした規模に立たざるをえず、また極めて重要であることは論を待たないであろう。しかし、国際的ないしは国家的規模に立った議論のみでは、地域的な、社会、経済、環境等への影響は評価できず、一部地域に大きな歪みをもたらす危険性が高い。このことからみて、地域的規模でのエネルギーシステムの解析も、より大きな規模での解析と同程度に重要な問題といえる。さらに、地域的な規模でのエネルギーシステムの解析は、着目している地域の特徴を適確に考慮したものでなければならず、他の地域での解析結果をそのままあてはめることはできない。

本研究は、北海道におけるエネルギー資源供給およびエネルギー消費の実態と将来動向とをできるだけ詳細にとらえ、これを分析するとともに、自然および社会環境と調和し、かつ国全体のエネルギー政策とも適確に協調した上で、北海道におけるエネルギーシステムがいかなる姿にあ

るべきかを把握し、さらにそれに向けて、何を、何時、どのようにしてなすべきかを探り出すことを、最終目標としている。

しかしながら、(1) 北海道のエネルギーシステムについての詳細な研究はこれまでほとんどなされていないこと、(2) この種の研究に利用できるまとまったデータはなく、不備な点が多いと考えられること、(3) 筆者等にとってもこの種の研究は初めての経験であり、あまり手を広げるとまとまりを欠く恐れがあること、等を考慮し、当面の目的を次のように設定している。

(1) 経験を積むために、エネルギーシステムに影響をおよぼす多くの要因を外生的に取扱った、第1段階としての北海道のエネルギーシステムモデル(モデル I)を作成すること。

(2) 各種のデータを収集整理し、作成したモデル I によりシミュレーションを実行するとともに、それによりどのような情報をもたらされるかを示すこと。

(3) さらに進んだモデルを作成するために検討する必要がある事項を抽出し、また不備なデータの補完を行うこと。

3. モデル I 作成に当たっての基本姿勢

エネルギーシステムモデルの作成に当たっては、そのモデルにより何を把握するのかを明確にとらえ、それにふさわしい手法を選択しなければならない。モデル I の作成に際しては、以下に示すような基本姿勢をとっている。

(1) 北海道のエネルギーシステムの現状分析と把握とに主眼をおき、現状における問題点の抽出が可能でモデルとする。現状における問題点を把握することにより、将来の北海道のエネルギーシステムのあるべき姿や、それに向けて何をすべきかについて方向づけができればよい。

(2) エネルギーシステムのダイナミクスには直接ふれず、ある時間断面(当面は“現状”を考慮)でのエネルギーシステムの最適構造の把握に重点をおき、LP(線形計画法)による静的なモデルを作成する。最終需要項目でのエネルギー需要量は既知のものとする。

(3) 全道を一括して取扱い、地域的ブロックに分割することはせず、また公害量等も総量として取扱い、地域分布は考慮しない。ただし最終需要では都市部と町村部の違いを考慮する。

(4) 現在研究段階にあるような革新的技術(例えば、太陽エネルギー等)はモデル内に組み入れないが、現状技術でも導入可能な道内での未利用技術(例えば、地熱発電、原子力発電、LNG 輸入等)は、その導入効果が分析できるようにモデル内に組み入れる。

(5) エネルギー資源は道内資源と道外資源とを区別し、また石油精製製品についても道内精製と道外精製とを区別して取扱う。核燃料も準道内資源とはせず、道外資源として取扱う。

(6) 電力は、局地変換型(自家発電)と中央変換型(電気事業者)とを区別し、さらに後者については、ロードデュレーションをも考慮する。ロードデュレーションは、ピーク(P)、ミドル(M)、ベース(B)の3分割で、その割合は実績から与えられる不変量と仮定する。

(7) 熱エネルギーの供給として中央変換型(熱供給事業者)のもののみを考慮する。

(8) 熱供給プラントからの電力供給、発電所からの熱供給を考慮できるようにする。

4. エネルギーシステムモデル; モデル I

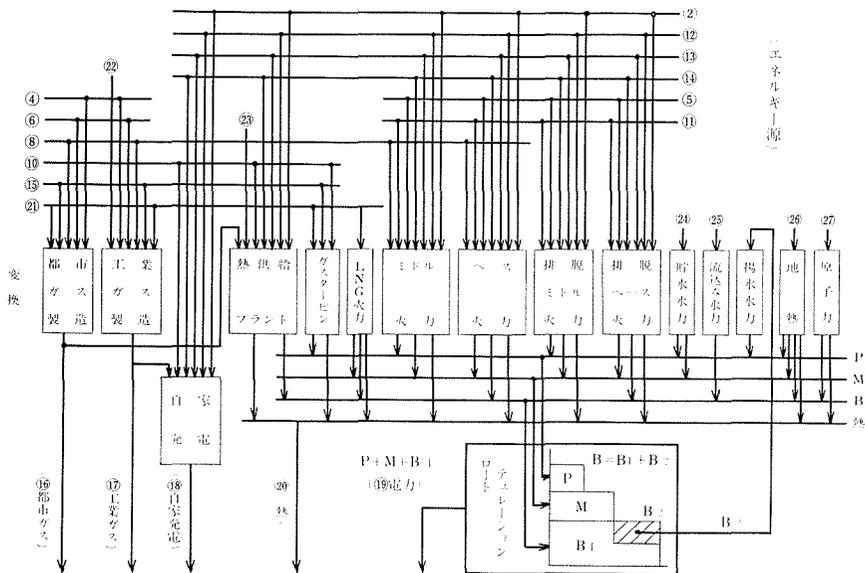
モデル I は、第1図および第2図のエネルギーフロー図と、第1表の最終需要項目でのエネルギー競合関係とに基づいて得られる各制約条件と各制限条件のもとで、各種の目的関数の最適化をはかる LP 問題として定式化される。独立変数(x_i)は、第2表および第3表に示された合計192変数であるが、エネルギーフロー図の各ブランチを通るエネルギー源の量と、各最終需要項

第2表 独立変数 (xi) 一覧表 (その1)

i	内 容	i	内 容	i	内 容
原 料 炭		ガ ソ リ ン		L 重 油	
0101	輸入原料炭移入量	0702	自 動 車 I	1211	業務用加熱・暖房
0102	道産原料炭乾留量	0703	自 動 車 II	1212	業務用冷房
一 般 炭		0704	ト ラ ッ ク・バ ス	1213	その他運輸用
0201	ミドル火力用	0705	その他運輸用	1214	融雪
0202	ベース火力用	ナ フ サ		1215	都市部料理・給湯
0203	排脱ミドル火力用	0801	移 入 量	1216	町村部料理・給湯
0204	排脱ベース火力用	0802	都 市 ガ ス 用	1217	都市部暖冷房
0205	熱供給プラント用	0803	工 業 ガ ス 用	1218	町村部暖冷房
0206	産業用加熱	0804	ミドル火力用	M 重 油	
0207	業務用加熱・暖房	0805	ベース火力用	1301	移 入 量
0208	業務用冷房	ジ ェ ッ ト 油		1302	自家発電用
0209	鉄道	0901	移 入 量	1303	ミドル火力用
0210	都市部料理・給湯	0902	ジ ェ ッ ト 機 用	1304	ベース火力用
0211	町村部料理・給湯	灯 油		1305	排脱ミドル火力用
0212	都市部暖冷房	1001	移 入 量	1306	排脱ベース火力用
0213	町村部暖冷房	1002	ガスタービン用	1307	熱供給プラント用
0214	自家発電用	1003	熱供給プラント用	1308	製鉄用
コ ー ク ス		1004	産業用加熱	1309	アルミ製造用
0301	製 鉄 用	1005	業務用加熱・暖房	1310	産業用加熱
0302	産業用加熱	1006	業務用冷房	1311	業務用加熱・暖房
コ ー ク ス 炉 ガ ス		1007	その他運輸用	1312	業務用冷房
0401	都 市 ガ ス 用	1008	融 雪 用	1313	その他運輸用
0402	工 業 ガ ス 用	1009	都市部料理・給湯	1314	融雪
原 油		1010	町村部料理・給湯	1315	都市部料理・給湯
0501	輸入原油移入量	1011	都市部暖冷房	1316	町村部料理・給湯
0502	精製処理量	1012	町村部暖冷房	1317	都市部暖冷房
0503	ミドル火力用	1013	自家発電用	1318	町村部暖冷房
0504	ベース火力用	軽 油		H 重 油	
0505	排脱ミドル火力用	1101	移 入 量	1401	移 入 量
0506	排脱ベース火力用	1102	火力発電所助燃	1402	自家発電用
L P G		1103	産業用加熱	1403	ミドル火力用
0601	移 入 量	1104	自 動 車 I	1404	ベース火力用
0602	都 市 ガ ス 用	1105	自 動 車 II	1405	排脱ミドル火力用
0603	工 業 ガ ス 用	1106	ト ラ ッ ク・バ ス	1406	排脱ベース火力用
0604	産業用加熱	1107	鉄 道	1407	熱供給プラント用
0605	業務用加熱・暖房	1108	その他運輸用	1410	産業用加熱
0606	業務用冷房	L 重 油		1411	業務用加熱・暖房
0607	自 動 車 I	1201	移 入 量	1412	業務用冷房
0608	都市部料理・給湯	1202	自家発電用	1413	その他運輸用
0609	町村部料理・給湯	1203	ミドル火力用	1414	融雪
0610	都市部暖冷房	1204	ベース火力用	1415	都市部料理・給湯
0611	町村部暖冷房	1205	排脱ミドル火力用	1416	町村部料理・給湯
0612	製 鉄 用	1206	排脱ベース火力用	1417	都市部暖冷房
0613	アルミ製造用	1207	熱供給プラント用	1418	町村部暖冷房
ガ ソ リ ン		1208	製鉄用	道 産 天 然 ガ ス	
0701	移 入 量	1209	アルミ製造用	1501	都 市 ガ ス 用
		1210	産業用加熱	1502	工 業 ガ ス 用
				1503	ガスタービン用

第3表 独立変数 (x_i) 一覧表 (その2)

i	内 容	i	内 容	i	内 容
都 市 ガ ス		電 力		熱	
1601	熱供給プラント用	1908	ベース火力, B	2001	熱供給プラントより
1602	業務用加熱・暖房	1909	排脱ミドル火力, P	2002	火力発電所より
1603	業務用冷暖	1910	排脱ミドル火力, M	2003	地熱発電所より
1604	都市部料理・給湯	1911	排脱ベース火力, M	2004	原子力発電所より
1605	都市部暖冷房	1912	排脱ベース火力, B	2005	業務用加熱・暖房
工 業 ガ ス		1913	貯水式水力, P	2006	業務用冷房
1701	自家発電用	1914	貯水式水力, M	2007	融雪用
1702	製鉄用	1915	地熱, P	2008	都市部料理・給湯
1703	アルミ製造用	1916	地熱, M	2009	町村部料理・給湯
1704	産業用加熱	1917	地熱, B	2010	都市部暖冷房
自家発電電力		1918	熱供給プラントよりの電力	2011	町村部暖冷房
1801	製鉄用	1919	製鉄用	輸 入 L N G	
1802	アルミ製造用	1920	アルミ製造用	2101	都市ガス用
1803	産業用動力	1921	産業用動力	2102	工業ガス用
1804	産業用加熱	1922	産業用加熱	2103	ガスタービン用
電 力		1923	照明・業務用動力	2104	L N G 火力用
1901	揚水を含む全需要	1924	業務用加熱・暖房	そ の 他	
1902	揚水用電力	1925	業務用冷房	2201	貯水池式水力利用量
1903	L N G 火力, M	1926	鉄道用	2202	流込み式水力利用量
1904	L N G 火力, B	1927	家庭用照明・動力	2203	ごみ処理量
1905	ミドル火力, P	1928	融雪用	2204	地熱利用量
1906	ミドル火力, M	1929	都市部料理・給湯	2205	原子力利用量
1907	ベース火力, M	1930	町村部料理・給湯		
		1931	都市部暖冷房		
		1932	町村部暖冷房		



第2図 エネルギーフロー図 (その2)

目で使用されるエネルギー源の量とからなっている。尚、重油は含有硫黄分の多少により、L 重油（平均硫黄含有量 0.5 重量%）、M 重油（平均硫黄含有量 2.0 重量%）および H 重油（平均硫黄含有量 3.5 重量%）の 3 種類に分けている。

各制約条件式（等式 46 本，不等式 28 本，合計 74 本）および各制限条件式（26 本）は以下に示すとおりであり，密度は約 6% である。

(1) 一般炭，原料炭，石炭乾留関係

① 一般炭バランス

$$\sum_{i=0201}^{0214} \eta_i x_i \leq y_4 - y_5$$

② コークスバランスおよびコークス炉ガスバランス

$$\alpha_1 x_{0101} + \alpha_1 x_{0102} - \eta_{0301} x_{0301} - \eta_{0302} x_{0302} = 0$$

$$\alpha_2 x_{0101} + \alpha_2 x_{0102} - \eta_{0401} x_{0401} - \eta_{0402} x_{0402} = 0$$

③ 石炭乾留装置の能力およびコークスの品質に関する制約条件

$$x_{0101} + x_{0102} \leq \gamma_1, \quad (1 - \beta_1) x_{0101} - \beta_1 x_{0102} \leq 0$$

④ 変数に対する制限条件（原料炭輸入上限および道産原料炭道内消費上限）

$$x_{0101} \leq y_1, \quad x_{0102} \leq y_2 - y_3$$

(2) 原油，石油製品関係

① 原油および各石油製品のバランス

$$\sum_{i=0503}^{0506} \eta_i x_i + x_{0502} - x_{0501} \leq y_7, \quad \sum_{i=0602}^{0613} \eta_i x_i - x_{0601} - \alpha_3 x_{0502} = 0$$

$$\sum_{i=0702}^{0705} \eta_i x_i - x_{0701} - \alpha_4 x_{0502} = 0, \quad \sum_{i=0802}^{0805} \eta_i x_i - x_{0801} - \alpha_5 x_{0502} = 0$$

$$\eta_{0902} x_{0902} - x_{0901} - \alpha_6 x_{0502} = 0, \quad \sum_{i=1002}^{1013} \eta_i x_i - x_{1001} - \alpha_7 x_{0502} = 0$$

$$\sum_{i=1102}^{1108} \eta_i x_i - x_{1101} - \alpha_8 x_{0502} = 0, \quad \sum_{i=1202}^{1218} \eta_i x_i - x_{1201} - \alpha_9 x_{0502} = 0$$

$$\sum_{i=1302}^{1318} \eta_i x_i - x_{1301} - \alpha_{10} x_{0502} = 0, \quad \sum_{i=1402}^{1418} \eta_i x_i - x_{1401} - \alpha_{11} x_{0502} = 0$$

② 変数に対する制限条件（石油精製能力および原油と石油製品の移出入上下限）

$$x_{0501} \leq y_6, \quad x_{0502} \leq \gamma_2, \quad y_8 \leq x_{0601} \leq y_9, \quad y_{10} \leq x_{0701} \leq y_{11}, \quad y_{12} \leq x_{0801} \leq y_{13}$$

$$y_{14} \leq x_{0901} \leq y_{15}, \quad y_{16} \leq x_{1001} \leq y_{17}, \quad y_{18} \leq x_{1101} \leq y_{19}, \quad y_{20} \leq x_{1201} \leq y_{21}$$

$$y_{22} \leq x_{1301} \leq y_{23}, \quad y_{24} \leq x_{1401} \leq y_{25}$$

(3) 天然ガス，都市ガス，工業ガス関係

① 道内産天然ガスバランスおよび輸入 LNG バランス

$$\sum_{i=1501}^{1503} \eta_i x_i \leq y_{28}, \quad \sum_{i=2101}^{2104} \eta_i x_i \leq y_{31}$$

② 都市ガスの需給バランスと製造能力および工業ガスの需給バランスと製造能力

$$\alpha_{12} x_{0401} + \alpha_{13} x_{0602} + \alpha_{14} x_{0802} + \alpha_{15} x_{1501} + \alpha_{16} x_{2101} - \sum_{i=1601}^{1605} \eta_i x_i = 0, \quad \sum_{i=1601}^{1605} \eta_i x_i \leq \gamma_3$$

$$\alpha_{17} x_{0402} + \alpha_{18} x_{0603} + \alpha_{19} x_{0803} + \alpha_{20} x_{1502} + \alpha_{21} x_{2102} - \sum_{i=1701}^{1704} \eta_i x_i = \alpha_{22} y_{33}, \quad \sum_{i=1701}^{1704} \eta_i x_i \leq \gamma_4$$

③ 都市ガスおよび工業ガス用 LPG の使用量下限

$$x_{0602} - \beta_{12} x_{0802} \geq 0, \quad x_{0603} - \beta_{12} x_{0803} \geq 0$$

(4) 自家発電および電力関係

① 自家発電電力の需給バランスと発電能力

$$\alpha_{23}x_{0214} + \alpha_{24}x_{1013} + \alpha_{25}x_{1202} + \alpha_{26}x_{1302} + \alpha_{27}x_{1402} + \alpha_{28}x_{1701} - \sum_{i=1801}^{1804} \eta_i x_i = 0, \quad \sum_{i=1801}^{1804} \eta_i x_i \leq \gamma_5$$

② 電力における全需要, ピーク需要, ミドル需要およびベース需要のバランス

$$x_{1901} - x_{1902} - \sum_{i=1919}^{1932} \eta_i x_i = 0$$

$$\alpha_{23}x_{1902} + \alpha_{30}x_{1002} + \alpha_{31}x_{1503} + \alpha_{32}x_{2103} + x_{1905} + x_{1909} + x_{1913} + x_{1915} - \beta_2 x_{1901} = 0$$

$$x_{1903} + x_{1906} + x_{1907} + x_{1910} + x_{1911} + x_{1914} + x_{1916} - \beta_3 x_{1901} = 0$$

$$x_{1904} + x_{1908} + x_{1912} + x_{1917} + x_{1918} + \alpha_{57}x_{2202} + \alpha_{59}x_{2205} - \beta_4 x_{1901} = 0$$

③ 各火力発電所, 貯水池式水力発電所および地熱発電所でのエネルギーバランス

$$x_{1903} + x_{1904} - \alpha_{33}x_{2104} = 0$$

$$x_{1905} + x_{1906} - \alpha_{34}x_{0201} - \alpha_{35}x_{0503} - \alpha_{36}x_{0804} - \alpha_{37}x_{1203} - \alpha_{38}x_{1303} - \alpha_{39}x_{1403} = 0$$

$$x_{1907} + x_{1908} - \alpha_{40}x_{0202} - \alpha_{41}x_{0504} - \alpha_{42}x_{0805} - \alpha_{43}x_{1204} - \alpha_{44}x_{1304} - \alpha_{45}x_{1404} = 0$$

$$x_{1909} + x_{1910} - \alpha_{46}x_{0203} - \alpha_{47}x_{0505} - \alpha_{48}x_{1205} - \alpha_{49}x_{1305} - \alpha_{50}x_{1405} = 0$$

$$x_{1911} + x_{1912} - \alpha_{51}x_{0204} - \alpha_{52}x_{0506} - \alpha_{53}x_{1206} - \alpha_{54}x_{1306} - \alpha_{55}x_{1406} = 0$$

$$x_{1913} + x_{1914} - \alpha_{56}x_{2201} = 0, \quad x_{1915} + x_{1916} + x_{1917} - \alpha_{58}x_{2204} = 0$$

④ 火力発電所での助燃用軽油消費, 電力用ナフサ使用上限および電力用原油使用上限

$$\sum_{i=1903}^{1912} x_i - \beta_5 x_{1102} = 0, \quad x_{0804} + x_{0805} - \beta_{15} \sum_{i=1905}^{1912} x_i \leq 0$$

$$\sum_{i=0503}^{0506} x_i - \beta_{14} \left(\sum_{i=1203}^{1206} x_i + \sum_{i=1303}^{1306} x_i + \sum_{i=1403}^{1406} x_i \right) \leq 0$$

⑤ 発電能力に関する制約条件と制限条件

$$\alpha_{30}x_{1002} + \alpha_{31}x_{1503} + \alpha_{32}x_{2103} \leq \gamma_6, \quad x_{1903} + x_{1904} \leq \gamma_7, \quad x_{1905} + x_{1906} \leq \gamma_8$$

$$x_{1907} + x_{1908} \leq \gamma_9, \quad x_{1909} + x_{1910} \leq \gamma_{10}, \quad x_{1911} + x_{1912} \leq \gamma_{11}, \quad x_{1902} \leq \gamma_{12}$$

$$x_{2201} \leq \gamma_{26}, \quad x_{2202} \leq \gamma_{27}, \quad x_{2204} \leq \gamma_{30}, \quad x_{2205} \leq \gamma_{32}$$

(5) 熱供給関係

① 需給バランスおよび熱供給プラントでのエネルギーバランス

$$\sum_{i=2001}^{2004} x_i - \sum_{i=2005}^{2011} \eta_i x_i = 0$$

$$\alpha_{60}x_{0205} + \alpha_{61}x_{1003} + \alpha_{62}x_{1207} + \alpha_{63}x_{1307} + \alpha_{64}x_{1407} + \alpha_{65}x_{1601} + \alpha_{66}x_{2203} - x_{2001} = 0$$

② 熱供給プラントよりの電力供給, 発電所よりの熱供給に関する制約条件および熱供給プラントの能力とごみ処理能力に関する制限条件

$$x_{2002} - \beta_7 \sum_{i=1903}^{1912} x_i - \beta_7 \alpha_{30}x_{1002} - \beta_7 \alpha_{31}x_{1503} - \beta_7 \alpha_{32}x_{2103} \leq 0, \quad x_{2003} - \beta_8 x_{2204} \leq 0$$

$$x_{2004} - \beta_9 \alpha_{59}x_{2205} \leq 0, \quad x_{2001} \leq \gamma_{13}, \quad x_{1915} - \beta_6 x_{2001} \leq 0, \quad x_{2203} \leq \gamma_{29}$$

(6) 最終需要項目関係

最終需要量に関する等式制約条件は, 第1表に示された21の最終需要項目に対しそれぞれ与え得るが, 紙面の都合上それらをすべて記述することは省略する。これらの等式制約条件式は, 一般的に, 次のような形式をとっている。

$$\sum_{j=1}^{m_i} \varepsilon_{i,j} x_{k(i,j)} = z_i$$

ここで m_i は最終需要項目 i に対し競合するエネルギー源の数であり, $k(i,j)$ は最終需要項目 i で利用し得るエネルギー源のうち j 番目のものの対応する添字を意味する。第1表～第3表を

第4表 $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \eta_i$ および $\epsilon_{i,j}$ の意味

記号	内 容	記号	内 容
β_1	乾留での輸入原料炭比率の下限	γ_1	石炭乾留装置の能力
β_2	電力でのピーク需要 (P) の割合	γ_2	石油精製処理能力
β_3	電力でのミドル需要 (M) の割合	γ_3	都市ガス製造能力
β_4	電力でのベース需要 (B) の割合	γ_4	工業ガス製造能力
β_5	火力発電所での単位出力当りの助燃用軽油消費量の逆数	γ_5	自家発電・発電能力
β_6	熱供給プラントからの電力供給量をきめる係数	γ_6	ガスタービン発電所能力
β_7	火力発電所からの熱供給の係数	γ_7	LNG 火力発電所能力
β_8	地熱発電所からの熱供給の係数	γ_8	ミドル火力発電所能力
β_9	原子力発電所からの熱供給の係数	γ_9	ベース火力発電所能力
β_{10}	製鉄のコークス使用比率の下限	γ_{10}	排脱ミドル火力発電所能力
β_{11}	アルミ製造の気体燃料比率の上限	γ_{11}	排脱ベース火力発電所能力
β_{12}	都市ガスおよび工業ガス製造での LPG 使用の下限をきめる係数	γ_{12}	揚水発電所能力 (揚水量)
β_{13}	製鉄のコークス使用比率の上限	γ_{13}	熱供給プラント能力
β_{14}	電力用重油消費の原油への代替上限	α_i	製品得率または変換係数
β_{15}	電力用ナフサ消費の上限	η_i	エネルギー輸送効率の逆数
β_{16}, β_{17}	料理・給湯での熱利用率の上限	ϵ_{ij}	最終需要項目段階でのエネルギー変換係数
$\beta_{18} \sim \beta_{21}$	家庭用重油使用比率の上限		

第5表 y_i と z_i との意味

制 約 量 (y_i)		最 終 需 要 量 (z_i)	
i	内 容	i	内 容
1	輸入原料炭移入可能量	1	産業用動力需要量
2	道内産原料炭生産可能量	2	産業用加熱需要量
3	道内産原料炭の道外への移出量	3	照明・業務用動力需要量
4	道内産一般炭生産可能量	4	業務用加熱・暖房需要量
5	道内産一般炭の道外への移出量	5	業務用冷房需要量
6	輸入原油移入可能量	6	自動車 I 部門需要量
7	道内産原油生産可能量	7	自動車 II 部門需要量
8, 9	LPG 移入量, 下限および上限	8	トラック・バス部門需要量
10, 11	ガソリン移入量, 下限および上限	9	鉄道部門需要量
12, 13	ナフサ移入量, 下限および上限	10	ジェット機部門需要量
14, 15	ジェット油移入量, 下限および上限	11	その他運輸用需要量
16, 17	灯油移入量, 下限および上限	12	家庭用照明・動力需要量
18, 19	軽油移入量, 下限および上限	13	融雪用需要量
20, 21	L 重油移入量, 下限および上限	14	都市部料理・給湯用需要量
22, 23	M 重油移入量, 下限および上限	15	町村部料理・給湯用需要量
24, 25	H 重油移入量, 下限および上限	16	都市部暖冷房用需要量
26	貯水池式水力利用可能量	17	町村部暖冷房用需要量
27	流込み式水力利用可能量	18	製鉄用原燃料需要量
28	道産天然ガス生産可能量	19	製鉄用電力需要量
29	熱供給プラントでのごみ処理可能量	20	アルミ製造用電力需要量
30	地熱利用可能量	21	アルミ製造用燃料需要量
31	輸入 LNG 移入可能量		
32	原子力利用可能量		
33	高炉転炉ガス発生量		

参考にし、また各需要項目では競合するエネルギー源を添字の若いものから順に番号づけしているものと約束すれば、 $k(i, j)$ の具体的な数値を決定するのは容易である。最終需要項目に関係して、さらに次のような不等式制約条件がある。これらは、家庭用料理給湯需要、家庭用重油利用および製鉄とアルミ製造における燃料の代替に関する制約である。

$$\begin{aligned} x_{2008} &\leq \beta_{16} z_{14} / \varepsilon_{14,9}, & x_{2009} &\leq \beta_{17} z_{15} / \varepsilon_{15,8}, & x_{1215} + x_{1315} + x_{1415} &\leq \beta_{18} z_{14} / \varepsilon_{14,4} \\ x_{1216} + x_{1316} + x_{1416} &\leq \beta_{19} z_{15} / \varepsilon_{15,4}, & x_{1217} + x_{1317} + x_{1417} &\leq \beta_{20} z_{16} / \varepsilon_{16,4} \\ x_{1218} + x_{1318} + x_{1418} &\leq \beta_{21} z_{17} / \varepsilon_{17,4}, & \beta_{10} z_{18} &\leq \varepsilon_{18,1}, & x_{0301} &\leq \beta_{13} z_{18} \\ \varepsilon_{21,1} x_{0613} + \varepsilon_{21,4} x_{1703} &\leq \beta_{11} z_{21} \end{aligned}$$

以上の制約条件式、制限条件式において、記号 $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \eta_i$ および $\varepsilon_{i,j}$ の意味は第4表にまとめて示したとおりであり、また y_i および z_i についても第5表にまとめて示したとおりである。これらの値は外生的にデータとして与えられなければならない。

追求すべき目的関数としては種々のものが考えられ、一般に

$$\phi_j = \sum_i c_{ij} x_i$$

のように表わされる。ここで j は目的関数の種類を示す添字である。モデル I においては、次の6種類の目的関数を追求し得るようにしている。

- (1) エネルギーシステム全体としてのコストの最小化
- (2) SO_x 排出総量 (SO₂ 換算値) の最小化
- (3) NO_x 排出総量 (NO₂ 換算値) の最小化
- (4) ダスト排出総量の最小化
- (5) 入力エネルギー量の最小化 (エネルギー需要量が既知不変であるモデル I の場合には、これはエネルギー消費総合効率を最大化することに対応している)
- (6) 北海道内へのエネルギー移入量の最小化 (北海道のエネルギー的脆弱性の改善に対応)

このような異質の目的関数を追求する場合には、適当な重みづけ (ω_j) により、これらを1つの目的関数としてまとめ、これを追求する方策も良くとられるのであるが、どのような重みづけをすべきかについて確固たる指針はなく、また得られた結果の意味も明確に把握し難いという難点がある。そこで、モデル I ではあえてこの方策はとらず、各々の目的関数を独自に追求することとし、第1順位の目的関数を最小化してもなお自由度の残る場合には、第1順位の目的関数に対してその最小値を制約条件とし第2順位の目的関数をも追求するという方策をとることとしている。

5. 結 言

北海道のエネルギーシステムモデル作成の最初の試みとして、エネルギーシステムに大きな影響を持ついくつかの要因 (例えば、エネルギー最終需要量、エネルギーコスト、エネルギー変換効率ないしは製品得率等) を外生的に取扱ったモデル (モデル I) を完成した。本モデルにより、北海道のエネルギーシステムの現状の分析を行い、現状での問題点を把握することが可能である。またこの結果から、今後の北海道のエネルギーシステムにとって、現在何をなすべきかについての指針を得ることができる。

もちろん、このモデル I による解析から得られる結果が真に北海道のエネルギーシステムの現状を反映したものとなるかどうかは、解析に利用するデータの精度や信頼性に大きく依存している。筆者等は本論文と組をなす別論文^{8,9)}において、モデル I を用いた解析を行うために収集、整理、作成したデータやそれを用いたシミュレーションの例を発表しているが、この一連の仕事

を通して痛感することは、この種の研究に利用できるデータの不備である。エネルギーシステムに関する信頼できるデータベースの作成が緊急に必要である。

本モデルにより解析を行う場合には、第3章で述べた基本姿勢を常に念頭におくべきである。本モデルには、多くの要因を外生的に取扱ったことからくる必然的な限界がある。エネルギー最終需要量はエネルギーコストにより大きく影響を受け、また石油製品の得率や変換コストは各石油製品の需要量により影響を受けるのが常であろう。また環境保全の要求がエネルギーコストや製品得率、エネルギー技術の水準に大きな影響力を持ち、技術水準は変換効率、輸送効率等の形を通して直接的にエネルギー需要形態に影響を与える。このような事情を反映させるためには、本モデルにおいては外生的に取扱われている多くの要因を何らかの形でモデル内に内生化する必要がある。さらに北海道のもつ地域的特徴もより適切にモデル化されることが必要であろう。特に、北海道におけるエネルギーシステムの未来像や、各種の要因のもつエネルギーシステムへのインパクトの解析を行なおうとする場合には、より改善されたモデルの開発が必要とされる。

今後の課題として、より進んだモデルの開発を検討中である。

謝 辞

本モデルの開発に当っては、本学部電気工学科電力工学講座の小池東一郎教授、工業技術院電子技術総合研究所の若松清司氏、小山茂夫氏をはじめとして、多くの方々のご指導をいただきました。ここに厚く感謝の意を表します。

また本論文で述べた研究は、昭和50年度の北海道科学研究費（一般研究）補助金をいただいで行ったものであることを記し、関係各位への感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 長谷川淳他：昭和50年度北海道科学研究費一般研究成果報告書（昭51、3）。
- 2) 長谷川淳他：電気四学会北海道支部連合大会講演論文集（昭51）、45。
- 3) IASA：Proc. IASA Planning Conf. on Energy Systems (1973)。
- 4) US National Science Foundation：Energy Modeling (1973)。
- 5) IEE：Energy, Europe and The 1980's (1974)。
- 6) 日本産業技術振興協会：エネルギーシステム構造の解析（昭51）、昭和50年度サンシャイン計画委託調査研究成果報告書。
- 7) 若松清司、小山茂夫：電子技術総合研究所彙報、39（1975）、10、p. 748。
- 8) 長谷川淳他：北海道大学工学部研究報告、83（昭52）、p. 101。
- 9) 長谷川淳他：北海道大学工学部研究報告、83（昭52）、p. 113。