

多基準分析法による地域冷暖房の総合評価に関する考察

その1 既存DHCの総合評価

多基準分析法 地域冷暖房 評価

○正会員 韋 新東⁽¹⁾
 正会員 尹 軍⁽²⁾
 正会員 李 海峰⁽³⁾
 正会員 高 偉俊⁽⁴⁾
 正会員 高橋信之⁽⁵⁾
 正会員 尾島俊雄⁽⁶⁾

1. はじめに

前報¹⁾でも述べたように、地域冷暖房(以下 DHC と略す)事業の普及には、既存 DHC 事業間の比較・分析により、総合的な評価を行う必要があると考える。総合評価によって各 DHC 事業の順位付けが可能になり、個々の事業分析からでは指摘出来なかった下位の DHC 事業に包含される負の影響因子を抽出・改善することに繋がるからである。

なお、前報では、今後の DHC 事業の普及に寄与する事を目的とし、多変量解析法を用いて全日本のうちに 66ヶ所既存 DHC の現時点での総合評価を行った。その結果、以下のように明らかとなった。事業性の影響要因は機械室面積/熱需要量、定着率、熱料金、稼働率、地域導管総延長/熱需要量、熱需要密度、時刻別冷熱需要最大値/時刻別冷熱需要平均値の順になっていた。事業性の視点からの評価では、約 3% の DHC は事業性が低い傾向にあったが、その原因として、それらの DHC では地域導管総延長/熱需要量、機械室面積/熱需要量、熱料金が大きく、定着率、熱需要密度、稼働率が低いことが指摘できる。

省エネルギー・環境性の評価では、最も影響の高い因子は総合 COP であり、サンプル中の約 24% の DHC は比較的高い省エネルギー・環境性を維持している。その要因はそれらの DHC では、比較的高い COP を持つシステムを導入していることに起因している。

アメニティ・防災性の評価では、冷却塔面積(アメニティ性)と蓄熱槽容量(防災性)のデータのみから評価を試みたが、約 27% の DHC が高いアメニティ・防災性を保持していた。

総合評価するため、三軸評価から面積の大きさを評価量として総合分析を行った。それらの評価指標を用いて、全サンプルの類型化を行い、評価順位を得た。類型化により得られた 7 類型のうち、類型 S6 の事業性の評価、類型 S7 の省エネルギー・環境安全性の評価、類型 S5 のアメニティ・防災性が最も低い評価となった。その論文で考察した評価順位を利用することにより、現在の DHC の問題を確認し改善点を見出すことが可能となる。

総合評価の目的のためには更に以下の課題について検討する必要がある。

- ① 評価手法の妥当性に関する検証
- ② 12 つ評価指標より評価できない既存 DHC の評価
- ③ 評価結果の応用

本報では、地域計画、地域熱供給システム等の評価^{2, 3, 4)}によく用いられてきた多基準分析法の一つ手法であるコンコダンス分析法⁵⁾を適用して行った総合評価について述べる。

2. 多基準分析法の概要

単純に統合できない複数の指標(例えば、熱需要密度と熱料金)を用いて、サンプル相互の比較を行う際、明らかかなことはそれぞれの指標における 2 つの案の優劣関係と、その値に絶対的な差(定量的指標の場合)である。Nijikamp によって開発されたコンコダンス分析法は、これらの情報を基に、2 重のアプローチで、各サンプル間の優劣の序列付けを行う手法である。

コンコダンス分析法には、計算式の違いによっていくつもの種類があるが、本報で用いた手法について流れを図 1 に示す。詳細的なものは後章には説明がある。

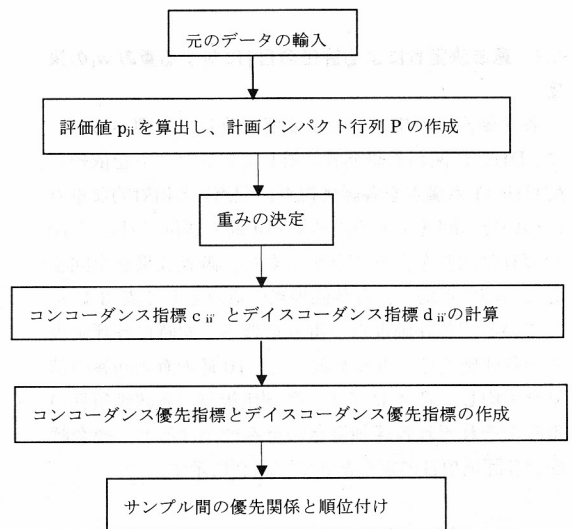


図 1 コンコダンス分析法

3. 多基準分析法による総合評価

3.1 評価視点、評価指標の選択とインパクトマトリクスの作成

本報では評価視点と評価指標は前報と同じである。つまり、評価視点は事業性、省エネルギー・環境保全性、アメニティ・防災

表 2 計画インパクト行列 P

サンプル	A1	A2	A4	A5	A6	A7	A8	B1	B2	B5	C1	C2
1	0.0121	1.2139	1.0126	0.3318	0.8977	0.5811	0.2345	0.4823	0.1130	0.1534	0.2436	0.5714
2	1.1193	-0.6321	-1.2509	-1.4470	1.0978	0.1347	-0.6689	0.5616	8.0398	0.3951	-1.6000	0.5714
3	0.1817	-0.0337	-0.9003	-0.0768	0.8780	-0.1336	0.6513	-0.0183	-0.1994	0.0949	0.3680	-0.2824
4	-0.4560	-0.2322	-0.2905	-0.4430	-0.1045	-0.8576	-2.8968	0.3175	-0.1376	-0.0395	0.5126	-0.9661
5	-0.4760	-0.3739	-1.0676	0.2839	-0.8612	0.2728	0.1854	0.4731	-0.1009	0.3951	0.6105	0.5714
6	0.0385	0.4801	-0.3503	-0.0370	1.0202	0.7663	0.0099	-0.1052	-0.1834	0.2964	0.7791	-0.0896
7	-0.3336	-0.4811	-0.7010	0.0359	-1.2579	-0.1580	-0.5439	0.5172	-0.0776	0.3951	0.7493	0.5714
8	-0.5634	-0.5816	-1.0716	-0.2826	-0.8366	-0.4539	-0.1063	0.5276	-0.1065	0.3951	-1.6000	0.5714
.....

表 1 評価項目

評価視点	評価項目	説明
事業性	A1: 地域導管総延長/熱需要量	-
	A2: 機械室面積/熱需要量	-
	A4: 定着率(将来建物延べ床面積に対する現在建物延べ床面積)	+
	A5: 燃料費	-
	A6: 熱需要密度(現在供給区域面積に対する熱需要量)	+
	A7: 稼働率	+
	A8: 時刻別冷熱需要最大値/時刻別冷熱需要平均値	-
	B1: 総合 COP	+
省エネルギー・環境保全性	B2: 熱需要量 1kcal 当たり CO ₂ 排出量	-
	B5: 未利用エネルギー割合	+
アメニティ・防災性	C1: 冷凍機容量 1kcal 当たり冷却塔面積	+
	C2: 熱需要量 1kcal 当たり蓄熱槽容量	+

注: +は評価項目値が大きければ大きいほど、-は評価項目値が小さければ小さいほど、評価が高いことを表す。

性であるし、相関係数より再選択された評価指標は表 1 に示した合計 12 項指標である。

DHC 毎の各評価項目 j における評価値 p_{ji} を算出し、計画インパクト行列 P を作成する。

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & \cdots & P_{1i} \\ \vdots & & \vdots \\ P_{j1} & \cdots & P_{ji} \end{bmatrix} \quad (1)$$

表 2 は計画インパクト行列 P の一部分である。各々サンプルの各評価指標の分布は複雑であるので、優先関係は判断し難い。

3.2 意志決定者による評価項目 j に対する重み w_j の決定

各評価視点の相対的な重要度(重み)を調べるために、DHC に関わる研究者に対してアンケートを依頼し、配点法(1点満点を各評価視点に配点)で相対的な重みについての回答を求めた結果、14 通の送付に対して 10 通の有効回答を得ることが出来た。調査成果を全回答者について平均し、各評価視点の重みとして表 3 に示している。各評価視点の重みを調べる同時に各評価視点の各評価項目の重みを調べた。10 通の有効回答の結果を平均し、表 4 に示す。各評価視点の各評価項目の重みをそれぞれ各評価視点の重みにかけると、総合評価の各評価項目の重みとして、図 2 に示す。

3.3 サンプル i が i' より優れている、全ての評価項目からコンコーダンス集合 $C_{ii'}$ の計算

表 3 評価視点の重み

事業性	省エネルギー・環境保全性	アメニティ・防災性
0.41	0.37	0.22

表 4 各評価視点の各評価項目の重み

事業性	省エネルギー性		アメニティ性		
A1	0.14	B1	0.40	C1	0.42
A2	0.08	B2	0.37	C2	0.58
A4	0.14	B5	0.23		
A5	0.27				
A6	0.17				
A7	0.12				
A8	0.08				
合計	1	合計	1	合計	1

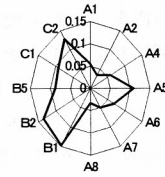


図 2 各評価項目の重み

この集合要素をもとに、サンプル i が i' より優れている度合いを表す指標として次式からコンコーダンス指標 $c_{ii'}$ を計算する。

$$C_{ii'} = \{j | p_{ji} > p_{ji'}\} \quad (2)$$

$$C_{ii'} = \sum_{j \in C_{ii'}} w_j (i \neq i') \quad (3)$$

表 5 には総合評価の場合、コンコーダンス集合を示している。その指標の平均値は 0.5407 である。

表 5 コンコーダンス集合

	1	2	3	4	5	6	.....
1		0.503	0.817	0.908	0.823	0.646	.....
2	0.625		0.674	0.707	0.625	0.625	.....
3	0.183	0.326		0.565	0.250	0.238	.....
4	0.092	0.293	0.435		0.217	0.342	.....
5	0.305	0.588	0.750	0.783		0.641	.....
6	0.354	0.375	0.762	0.658	0.359		.....
.....

3.4 つぎに、コンコーダンス集合の補完集合として、 i が i' より劣る全ての評価項目からディスコーダンス集合 $D_{ii'}$ の計算

$$D_{ii'} = \{j | p_{ji} > p_{ji'}\} \quad (4)$$

この集合要素に含まれる各指標での結果の格差を次式で集計して、サンプルiがi'より劣っている度合いを表すデイスコードダンス指標 $d_{ii'}$ を計算する。

$$d_{ii'} = \sum_{j=1}^J \left(\frac{|p_{ji} - p_{ji'}|}{d_j^{\max}} \right) \quad (i \neq i', j \in D_{ii'}) \quad (5)$$

上式で、 d_j^{\max} は評価項目 j の計画の結果間の最大差を示す。すなわち

$$d_j^{\max} = \max |p_{ji} - p_{ji'}| \quad (6)$$

表 6 は総合評価の場合、デイスコードダンス集合である。それらのデイスコードダンス指標の平均値は 0.6412 である。

表 6 デイスコードダンス集合

	1	2	3	4	5	6	.....
1		1.085	0.721	1.400	0.782	0.506	.....
2	1.147		1.362	1.959	1.408	1.292	.....
3	0.085	0.673		0.869	0.403	0.104	.....
4	0.032	0.537	0.138		0.203	0.063	.....
5	0.073	0.645	0.331	0.865		0.229	.....
6	0.122	0.854	0.356	1.050	0.556		.....
.....

3.5 このようにして得られたコンコードダンス指標、デイスコードダンス指標を用いたサンプルの評価手法には2つの方法がある。

一つはサンプル間の優先関係を求めるのである。全てのサンプルの組み合わせにおけるコンコードダンス指標、デイスコードダンス指標の平均値をそれぞれ求め、サンプルiのサンプルi'に対するコンコードダンス指標がこの平均値以上であり、デイスコードダンス指標が平均値以下である場合、サンプルiはサンプルi'に対して優先されると結論できる。

表 7 は集計優先行列である。その中に、サンプル i がi'より優先関係ありの場合に1、それ以外の場合に0とした。表 7 によって、サンプル1はサンプル2、14、17、18、33、52、56との優先関係がな

表 8 純コンコードダンス優先値、純デイスコードダンス優先値、平均値と優先順位

サンプル	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
純コンコードダンス優先値	-267	-168	131	224	-97	109	-52	34	173	-48	223	-66	-200	-304	-236	13	-244	-128	-143	-49	-59	-134	-24	-61	-16	62	-12	81	-10	68	217	18	98		
純デイスコードダンス優先値	433	433	433	-403	-94	204	-99	-323	-389	-333	-303	97	309	322	254	863	211	273	118	100	09	319	292	-419	-513	-403	233	-103	-144	-245	-122	-42	512		
平均値	-350	-303	47	311	-451	99	-283	329	166	281	-681	-281	-313	-253	-338	-224	-221	-132	-75	-34	-65	-167	204	211	278	-233	45	221	211	139	32	-122			
優先順位	6	6	2	8	4	4	3	6	5	2	10	4	5	6	5	3	5	5	5	4	3	4	5	6	2	1	5	2	3	1	6	2	5		
サンプル	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6		
純コンコードダンス優先値	212	89	303	133	217	316	252	138	258	-134	-121	-17	-68	252	-133	278	-58	-372	-344	218	108	238	-210	114	108	-317	88	73	238	-16	308	-233	49		
純デイスコードダンス優先値	-298	88	-444	-399	-54	-401	-183	-36	-45	232	63	22	174	-164	117	73	78	143	331	-433	-163	-339	160	57	-63	75	133	-25	-13	18	-62	918	-54		
平均値	269	09	482	138	88	333	203	122	373	-206	-92	-202	-217	218	-263	-21	-68	-611	-323	344	87	289	-165	-22	134	-333	-43	368	18	-14	364	-527	116		
優先順位	1	3	1	2	2	4	1	2	6	5	4	3	4	1	4	3	4	6	6	7	2	9	9	3	2	6	4	2	3	3	3	6	2		

し、サンプル 27、51、65、59より絶対的な優位性があり、他のサンプルより絶対的な劣等性がある、ようなことがわかった。同時にサンプル1、17、65、36の各評価指標と全体サンプル各評価指標平均値の比を図3に示している。サンプル1、17、65、36の時刻別冷熱需要最大値/時刻別冷熱需要平均値 (A8)、冷凍機容量 1Kcal 当たり冷却塔面積 (C1) はそれぞれ近い。サンプル1の他の各評価指標と比較すると、サンプル17では地域導管総延長/熱需要量 (A1)、定着率 (A4)、熱需要密度 (A6)、稼働率 (A7) はやや高く、機械室面積/熱需要量 (A2)、熱料金 (A5)、熱需要量 1Kcal 当たりCO2排出量 (B2)、未利用エネルギー割合 (B5) はやや低く、総合COP (B1)、熱需要量 1Kcal 当たり蓄熱槽容量 (C2) は近い。従って、表1と上述されたコンコードダンス分析法の特徴よりサンプル1とサンプル17のコンコードダンス指標、デイスコードダンス指標は近いことが判断できることに基づいて、両者の優先関係がないことも理解できる。同様に、サンプル65では機械室面積/熱需要量 (A2)、熱料金 (A5)、熱需要密度 (A6)、稼働率 (A7)、総合COP (B1)、熱需要量 1Kcal 当たり蓄熱槽容量 (C2) は近く、熱需要量 1Kcal 当たりCO2排出量 (B2) は総合評価に有利であるが、地域導管総延長/熱需要量 (A1)、定着

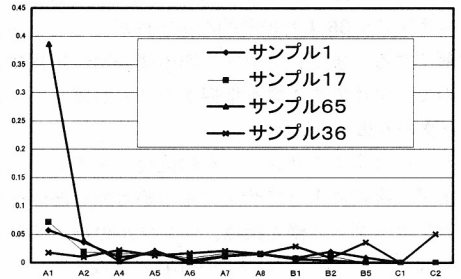


図 3 サンプル 1、17、65、36の各評価指標と全体サンプル各評価指標平均値の比

率 (A4)、未利用エネルギー割合 (B5) は総合評価に

を行う。結果を表8に示している。

表7 集計優先行列

不利で、且つ地域導管総延長/熱需要量 (A1) は最も大きいので、コンコダンス指標、ディスコダンス指標ではサンプル1はサンプル65よりよい基づいて、サンプル1はサンプル65より絶対的な優位性がある。サンプル36では地域導管総延長/熱需要量 (A1)、機室室面積/熱需要量 (A2)、熱料金 (A5)、熱需要量1Kcal当たりCO2排出量 (B2) は低く、定着率 (A4)、熱需要密度 (A6)、稼働率 (A7)、総合COP (B1)、未利用エネルギー割合 (B5)、熱需要量1Kcal当たり蓄熱槽容量 (C2) は高いので、サンプル1はサンプル36より絶対的な劣等性があることがよく理解できる。また、サンプル間の優先関係が複雑となるので、全体の優先像を把握することが難しい。従って、次の方法で示し易い。

もう一つは全てのサンプルを順位付けするものである。まず、次式によってサンプルの絶対的な優位性を示すコンコダンス優先指標、サンプルの絶対的な劣等性を示すディスコダンス優先指標を作成する。

$$c_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^I c_{ij} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^I c_{ji} \quad (7)$$

$$d_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^I d_{ij} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^I d_{ji} \quad (8)$$

上記のように異なる定義に基づき決定した優位性、劣等性を示す両優先指標による序列付けが一致したものをから順位を決定する。一致しない場合には、両優先値の平均から優位度を算出し、それに従って順位付け

4 結論

本研究では多変量分析方法より得た総合評価結果を検証するために、多基準分析方法により66ヶ所既存地域冷暖房の優劣関係を検討した。本報の結果より、以下の点が結論できる。

まず、計画インパクト行列 P の作成された結果より、各々サンプルの各評価指標の分布は複雑であるので、優先関係は判断し難い。また、地域冷暖房に関わる研究者に対してアンケートを依頼し、配点法で各評価視点の重みを調べる同時に各評価視点の各評価項目の重みを調べた。総合評価の各評価項目の重みとして、総合COP、熱需要量1kcal 当たり CO₂ 排出量、熱需要量1kcal 当たり蓄熱槽容量は大きい。次に、コンコダンス指標 c_{ii} (その指標の平均値は0.5407) とディスコダンス指標 d_{ii} (それらのディスコダンス指標の平均値は0.6412) を計算した。更に、コンコダンス優先指標とディスコダンス優先指標の作成に基づいて、サンプル間の優先関係と順位付けを分析した。

謝辞

本研究のデータ調査及びアンケートにご協力頂いた日本地域冷暖房の方々にお礼を申し上げます。また、大阪大学下田助教授から参考資料を頂いて、ここに深く感謝の意を表します。本研究は、NEDO 産業技術研究事業費助成金を受けて研究を実施したものです。

参考文献

- (1) 章 新東：地域冷暖房の評価手法に関する研究—多変量解析法による総合評価の試み—日本建築学会計画系論文集 N O537 P. 71~76 2000年11月
- (2) 下田 吉之他：環境保全型地域熱供給システムの総合評価手法に関する研究 第2報 各指標の重みに関するアンケート結果と多基準分析法による総合評価 空気調和・衛生工学会論文集 N0. 74. P.P.113~120 1999年7月
- (3) 松橋 啓介：多基準意思決定分析による低環境負荷型都市の土地利用密度に関する考察 都市計画論文集 No. 34 P. 634~648 1999年
- (4) 辻敷 一郎他：階層分析法による高層集合住宅用エネルギーシステムの評価 エネルギー・資源 6-6 (1985) P.P. 63~70
- (5) P. ネイカンパ他：多基準分析と地域の意志決定 日本交通政策研究会研究双書5 (1989) 劉草出版
- (6) 日本熱供給事業協会：熱供給事業便覧 日本熱供給事業協会 平成10年

*1 早稲田大学大学院博士課程 環境エネルギーセンター客員研究員・博士
 *2 早稲田大学大学院博士課程 環境エネルギーセンター客員研究員・博士
 *3 早稲田大学大学院博士課程 環境エネルギーセンター講師・博士
 *4 早稲田大学大学院博士課程 環境エネルギーセンター助教授・博士
 *5 早稲田大学大学院博士課程 環境エネルギーセンター助教授・博士
 *6 早稲田大学大学院博士課程 環境エネルギーセンター助教授・博士

Graduate School, WASEDA Univ.
 Advanced Research Center for Science and Engineering, WASEDA Univ. Dr.
 Graduate School, WASEDA Univ.
 Advanced Research Center for Science and Engineering, WASEDA Univ. Dr.
 Prof. WASEDA Univ. Dr.
 Prof. WASEDA Univ. Dr.