

サーモダイナミックモデルによる都市エネルギーの算出と都市分類に関する研究

岩手大学工学部 ○正会員 安藤 昭
北海道大学工学部 正会員 五十嵐 日出夫

1. まえがき

都市度とは、都市の成長や発展過程を示す尺度である、といわれる。都市度の概念が最初に都市分析に取り入れられて以来、各都市のデータが集積されるにつれて種々の目的のもとに多くの分野での研究成果がみられるようになっていく。

しかし、都市度に対する基本モデルという視点からの考察が充分なされていくとは思われず、したがって、都市分析に対し重要な課題が残されているものといえる。

本研究は、都市度に対する基本モデルの確立と、その定量化手法の開発を目的としている。

2. 対象都市及び分類のための基準指標

本研究では、都市機能という観点からの追求を重視し、都市機能を示す基本的な指標として36指標を選択した。また、対象都市は、全国の城郭を有する地方都市から76都市をピックアップして用いた。

3. バリマックス法による年度別の分析結果及び都市度モデル式の構成因子の選出

各年度ごとの因子分析結果は、オーバーヘッドに示すとおりである。

Table 1 Correlation Matrix of Structure Vector for Classifying Cities with Variance Analysis

	1973				1975				1980				1985			
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
F ₁	1.000															
F ₂	0.028	1.000														
F ₃	-0.205	0.203	1.000													
F ₄	0.413	0.363	-0.143	1.000												
F ₁	0.996	0.030	-0.201	0.415	1.000											
F ₂	0.003	0.993	0.200	0.319	0.012	1.000										
F ₃	-0.026	0.007	0.999	-0.333	-0.004	0.009	1.000									
F ₄	-0.338	0.185	0.164	-0.100	-0.371	0.187	0.210	1.000								
F ₁	0.902	0.000	-0.277	0.424	0.904	0.130	-0.004	-0.281	1.000							
F ₂	-0.001	0.999	0.276	0.342	0.007	0.074	0.020	0.271	0.000	1.000						
F ₃	-0.281	-0.002	0.997	-0.023	-0.010	-0.170	0.000	0.070	-0.000	-0.000	1.000					
F ₄	-0.074	-0.118	-0.467	0.163	-0.036	-0.030	-0.004	-0.366	-0.000	-0.000	-0.000	1.000				
F ₁	0.918	0.000	-0.251	0.424	0.973	0.079	-0.040	-0.266	0.973	0.016	-0.016	-0.008	1.000			
F ₂	-0.001	0.997	0.260	0.341	-0.014	0.080	0.037	0.273	0.000	0.000	-0.010	-0.008	0.001	1.000		
F ₃	-0.282	-0.002	0.996	0.000	-0.100	-0.100	-0.000	-0.366	-0.000	-0.010	0.000	0.000	-0.010	0.000	1.000	
F ₄	-0.077	-0.107	-0.466	-0.113	-0.030	-0.030	0.007	-0.366	-0.000	-0.010	-0.010	-0.008	-0.007	-0.010	-0.010	1.000

この構造ベクトルをみると、4時点を通じて共通しているのは、F₁, F₂ であり、F₃ 以下は不安定であることに気付く。この点に注目したい。もし、4時点間を説明できる因子がF₁, F₂ だとすると、かなり簡単に、都市度を定量化できるのではないだろうか。F₁, F₂, ..., F_n の都市度説明因子からF₁, F₂ だけを選ぶ理由も次に述べる。

本分析の結果、どの年度もF₃ 以下は命名のしようがなく、4時点の構造ベクトルの相関(表-1)をとってみると、F₃ 以下は全く不安定である。それに比べ、F₁, F₂ は更に90~96%の相関値をとる。又、本研究の過程で、変量数、都市数を変えた時、F₃ 以下の構造は、それらの変動が著しく値を変えた。加えて、データの有効数字によってもF₃ 以下の構造が変化したこと述べておく。

以上の理由から、多年度にわたって説明できる都市度モデル式は、F₁, F₂ から構成される。その構造から、F₁, F₂ 両因子をそれぞれ次のように名づけた。

F₁ —— 集積度, F₂ —— 都市の微視的状態の他都市との場合の数を示す因子

4. 熱力学理論による都市度モデル式の作成

F₁, F₂ による各都市の因子得点をF₁^{*}, F₂^{*} とする。このF₁^{*}, F₂^{*} の都市度モデル式を考えるにあたって、我々は、熱力学理論を導入した。都市を構成している人間、その他の要素を分子とした時、それらが動くことによる都市エネルギーが都市度を示していると考えたからである。熱力学第一法則によれば、エンタルピーは、H = E + PV であらわれ、生成エンタルピーは、その化合物の持つエネルギーに近似的に等しいと言われる。これを本研究の都市に比した場合、エンタルピーは都市の内部エネルギーと考えられる。F₁ の構造をみると集積に関わる変量がすべて表われている。よってF₁ の因子得点F₁^{*} を都市の内部エネルギーとした。しかしながら、都市エネルギーを考える場合、その系自身のみならず外界の変化も考えなければならぬ。熱力学では、このよう

な状況を考える時、ギブス自由エネルギーという関数が定義されている。 $G = H - TS$ —①式 S はエントロピーである。分子論的解釈によれば、 S は次のように導かれる。互いに独立な系 A, B の可能な微視的状態の数をそれぞれ ω_A, ω_B とすれば、 A と B とを一つの系と見たときの状態の数は、 $\omega_A \times \omega_B$ となる。平衡状態にあるエントロピーをこの状態数関数と考え、 $S = f(\omega)$ とする。エントロピーは相加的ではなくあるから、 A と B との全体の系についてはエントロピーは、 $S = S_A + S_B$ となる。ゆえに、 $f(\omega) = f(\omega_A \times \omega_B) = f(\omega_A) + f(\omega_B)$ が成り立ち、 $S = f(\omega) = k \log \omega$ —②式、 F_2^* は他都市に關係する因子である。これが状態の場合の数を示すと考へて、 $K \log F_2^*$ とすれば、それは他都市との不確定量、つまりエントロピーを示す。以上より、都市度モデル式は①式、②式に F_1^*, F_2^* を代入して、 $G = F_1^* - K \log F_2^*$ 、として採用することにした。

5. 都市度モデル式、 $G = F_1^* + K \log F_2^*$ の決定

上記のモデル式を実際に使用するために、因子得点にいくつかの操作を加えた。第1に F_2^* は1以上でなければならぬ。因子得点は相対値であるから、 F_2^* の最小値が1になるように " $F_{2min}^* + 1$ " をすべての F_1^*, F_2^* に加えて、使えるデータにした。第2に、 F_1^* の符号の問題である。生成エンタルピーが負の場合、その化合物は安定、正の場合には不安定である。 F_1^* がエンタルピーを示すものであることは推測できるが、因子得点が相対値であるがゆえに符号がはっきりしない。そこで、我々は、データを整理した場合の値を基準として、その値が正なら安定と考へた。これより、モデル式 G は、 $G = -(F_1^* + K \log F_2^*)$ となる。 $-G$ を都市度を示す都市エネルギーと考へ、便宜上 $G = F_1^* + K \log F_2^*$ を都市度モデル式として決定した。このモデル式の係数 K を考へるにあたり我々は、都市エネルギー G と人口との相関をとり、その値を検討した。(表-2) なせなら、都市度の示すところは都市がどのくらい人口を支えているかという指標でもあると考へたからである。よって G と人口が最も高い相関を示す値とするものとする。すると $K = 1$ となり、都市度モデル式は、 $G = F_1^* + \log F_2^*$ と示される。

Table 2 Coefficient Correlation between City Energy and Population on the Variable K

YEAR	0.00	0.33	0.66	1.00	1.33	1.66	2.00	2.33	2.66	3.00	3.33
1980	0.946	0.916	0.878	0.870	0.876	0.876	0.874	0.870	0.867	0.863	0.859
1985	0.961	0.945	0.938	0.910	0.910	0.909	0.887	0.885	0.882	0.888	0.865
1970	0.958	0.887	0.870	0.911	0.911	0.911	0.971	0.970	0.968	0.966	0.964
1975	0.982	0.912	0.974	0.975	0.974	0.972	0.869	0.866	0.863	0.869	0.894

6. 考察

式 $G = F_1^* + \log F_2^*$ で示される都市エネルギー値が都市度指標を示すものとして考へ、本研究では、この式を都市度のサーモダイナミックスモデルと呼ぶ。なお上式の都市エントロピー $\log F_2^*$ は調査対象76都市のうち昭和35年、40年、45年、50年の4調査時点における F_2^* の最小値を基準値 ($F_{2min}^* = 1, \log F_2^* = 0$ 、人口約3万人の調査対象都市中最小規模の都市に相当する) として整理し、求めたものであり、都市エンタルピー F_1^* も F_2^* の修正間隔にしたがって整理した値である。ちなみに本研究の調査対象76都市の都市エネルギーと都市エントロピーの時系変化を図示すると Fig. 1, Fig. 2 のように示され、都市エネルギーおよび都市エントロピーの大きさは都市規模に支配されていることが知られるものの、時系変化は前者は都市規模に支配され、後者は規模に無関係にほぼ一様に変化するというエントロピー特有の興味深い現象が明らかにされ、かつ、都市のマクロな成長発展の経過が明瞭に視覚化され得るということが知られるのである。以上の分析を用いて行なった都市分類の結果については講演時報告する。なお本論文は、4年次学生 千田庸哉、伊藤 明、両君との討論の結果生み出されたものであることを記す。

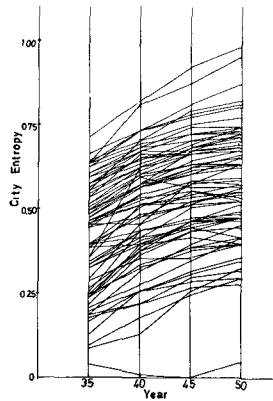


Fig. 2 The Changes of City Entropy

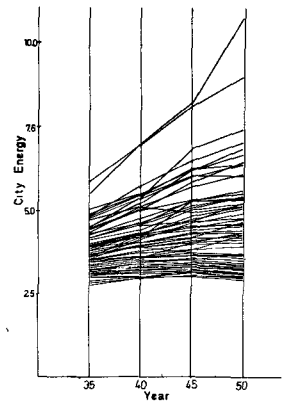


Fig. 1 The Changes of City Energy

都市エネルギーおよび都市エントロピーの大きさは都市規模に支配されていることが知られるものの、時系変化は前者は都市規模に支配され、後者は規模に無関係にほぼ一様に変化するというエントロピー特有の興味深い現象が明らかにされ、かつ、都市のマクロな成長発展の経過が明瞭に視覚化され得るということが知られるのである。以上の分析を用いて行なった都市分類の結果については講演時報告する。なお本論文は、4年次学生 千田庸哉、伊藤 明、両君との討論の結果生み出されたものであることを記す。