研究論文

統計処理による太陽エネルギー利用システム系に対する周囲環境因子の寄与率評価について

On the Evaluation of Environmental Factors to a Sytem for Solar Energy Utilization based on a Statistical Analysis.

大 滝 厚*
Atsushi OOTAKI
藤 井 石 根*
Iwane FUJII

Abstract

The future shotage of energy compels us to save ordinary energy resources and to develop new energy systems. Under such situations, though solar energy is not a little expected as one of promising energy resources, further investigation is still necessary to achieve effective utilization of the energy.

The purpose of this paper is to show a way of data analysis of experiments with the view to promoting technical improvement of various equipments for solar enrgy utilization. The experimental data of the intended analysis are not always quantitative and sometimes contain qualitative one such as month, hour and weather.

In this study, room temperature and humidity of hothouse are chosen as the subject to research model and put to tests using simple hothouse made mainly of polystyrol plates. Statistical data analysis of the test clarifies numerically the degree of the effect of various influencing factors to the temperature and the humidity. Further, by the fact that the analytical results present the behaviour of experimental results with fairly good accuracy, the presented data analysis is considered to become useful means which brings powerful informations for promoting technical improvements.

1. 緒　　言

昭和48年秋の石油危機を契機に我が国の経済は大きく動揺し，インフレ，不況といった荒波にもまれたが，好調な貿易収支に支えられて，その緊張感も当時に比べてゆるみ，低経済成長とはいえ安定成長の方向へ向って歩んでいる感がある。しかしながら，将来のエネルギー資源について考えるとき，我々は従来にも増して積極的な態度をもってこれに取組む姿勢が必要であり，エネルギー源の99%以上を輸入に依存している我が国としては，世界のどの国にも増してその努力は不可欠なものであろう。そのような背景をもとに，近年，省エネルギー技術はもとより新エネルギーの研究開発が不可欠なものとなり，太陽エネルギーの利用に関する研究なども最近では盛んに行われようとする傾向がみられる。しかし，太陽エネルギーは莫大なエネルギー源でありながら，エネルギー密度が小なる故に，従来積極的な利用がなされておらず，かつ，これに関する研究の歴史も浅く蓄積も少ないのが実情である。したがって，これまでの太陽熱の利用は，給湯用や冷暖房用が主なものであったが，これからは発電，乾燥用熱源，海水の淡水化等への利用も考えての技術開発が必要であろう。

さて，太陽熱を有効かつ高効率で利用するためには，言うまでもなくまず効率の高い集熱方法により集められた太陽エネルギーを必要に応じて適当な方法により蓄積し，従来はこれをソーラーハウスの冷暖房システムのエネルギー供給源などに利用する方法がとられていたが，この場合集熱器や蓄熱槽は，大気環境に

* 明治大学工学部
Faculty of Engineering, Meiji University

曝露されているために周囲の環境条件の影響を当然うけ，同一機器でありながら設置場所，季節，時刻等によりその性能にバラツキが発生することが考えられる。したがって，周囲環境条件の熱集収システムへの影響度合を正しく評価する方法を確立しておくことは今後より重要性が増すであろうところの太陽熱発電等の太陽熱利用システムの設計にあたって基礎的かつ重要な課題といえる。

そこで本研究では，上記のような観点から，手始めとして塩化ビニール板で覆った簡単な温室の温室内温度，湿度をモデルに，これらの各量が周囲の環境条件によりどのような影響をうけるか，その度合を示すことによりこのような取扱い方による予測の方法の適切さを明らかにすることを目的としている。

ここで使用したモデル実験のデータは，夏季および冬季の4月間にわたって集収したもので，このデータによる解析結果によれば，室温に影響を与える因子としては，全天日射量が最も影響度合が大きく室温変動の36％を説明し，次に外気温21％，時刻23％の順であり，このほか天候を含めると室温変動の90％を説明できるとの結果をえている。なお，湿度についてもほぼ同様の結果が得られている。

2. 温室内温度ならびに湿度に対する周囲環境条件の影響度合の評価方法

2. 1 統計処理による解析法の概要

本研究では温室の問題を実例としている関係上，ここではこれを用いて本解析法の概略を説明することにする。

いま温室の評価特性を y（たとえば温度，湿度など）とするとき，この評価特性 y は温室の性能を表わす特性ベクトル X_1 と温室に影響をおよぼす周囲環境条件をあらわす特性ベクトル X_2 の関数として次のように表わすことができる。

$$y=F\,(X_1,\ X_2)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

そこでこの場合の評価特性 y を温室の温度に例をとれば，この特性 y の変動は，大気環境中に設置された適当な素材（ガラス，プラスチックなど）で仕切られた温室という閉じた系と大気環境という乱流境界層内の開いた系との間に生ずる熱伝達の問題となるが，この熱伝達の度合は各系のもつ系特有の熱伝達性や系内の気流の運動，日射光線による放射ならびに熱放射等によって支配される。したがって熱伝達に影響を与える上記の諸量は，時間により刻々変化するいわゆる非定常の現象であり，かつその中に含まれる各種パラメータは温度により変化するので，熱伝達の問題として定式化すること自体複雑で非常に困難であることとは周知の通りである。

上述の例でも明らかなように，評価特性 y の変動をたとえ定性的に記述できたとしても複雑な現象を定式化することは非常に困難であることから，各現象の関係をブラックボックスとして取扱い，評価特性 y に関係する因子により簡単でかつ諸量の定性的関係と一致するような形式でこれらの間の関係を定式化できれば，それをもとに将来取扱う物理現象を定式化することに，これを役立てることができる。このような考え方による定式化をここでは物理モデルに対して非物理モデルと呼ぶことにする。非物理モデルの代表的な扱い方として観測データをもとにこれを定式化する統計的方法がある。

さて，理工学の分野における観測データは，計測機器を用いて観測されたもので，一般にある特性に対する2つの観測値 x_1，x_2 の差 $|x_1-x_2|$ すなわち距離として，ある意味をもつ計測結果がえられる。しかし，本研究で取扱おとしている特性の中には，たとえば周囲環境因子の中での天候や時刻また季節といったような因子のようにその計測結果の差すなわち距離には絶対的な意味のないものもある。しかし，このような観測結果を適当な処理を加え，数量化して評価特性 y との関係を数量的に評価することが，種々の特性の比較をする上でこれもまた重要である。林は，このような数量化の一般理論を提案[1]しており，本論文の解析でもこの方法を採用しているが理解を深めるためにまずその数量化の方法の概要を記述することにする。

さて，いま，i 番目の観測データをもとに，評価特性 y に対し数量 y_i なるものが，**表1**のような各項目の分類基準に属する要因パターンから得られたものとする。たとえば，温室内温度 50°C は，季節が夏で，天候晴，時刻午前10時というようにである。そこで，ここでは以後，季節や天候，時刻のような単なる項目を示すものをアイテム，そしてその各項目内の属性をカテゴリーと呼ぶことにする。結局，このアイテム・カテゴリーに属する状態から評価特性 y が得られるが，この評価特性 y をアイテム・カテゴリーの反応パターンからもっとも精度よく予測できるような関係式（1）を得，かつアイテム・カテゴリーとの関係を数量的に評価できれば，非物理モデルとしての役割を達成できたことになる。

いま，アイテム・カテゴリー c_{jk} に仮りに x_{jk} という数量を与えたと考える。そして，評価特性の i 番

表1　カテゴリー因子に対する評価特性の反応

項目	1				2				3				-----	j				----	R			
評価特性＼分類	C_{11}	C_{12}	-----	C_{1k_1}	C_{21}	C_{22}	-----	C_{2k_2}	C_{31}	C_{32}	-----	C_{3k_3}	-----	C_{j1}	C_{j2}	-----	C_{jk_j}		C_{R1}	C_{R2}	-----	C_{Rk_R}
y_1	∨					∨						∨	⋮	∨					∨			
y_2		∨			∨							∨	⋮				∨		∨			
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮
y_i				∨		∨			∨				⋮				∨			∨		
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮
y_n		∨						∨		∨					∨							∨

注：∨印はアイテム(項目)、カテゴリー(分類)に反応したことを意味するものとし、その結果として評価特性 y が得られたことを意味する

目の観測量 y_i に対しアイテム・カテゴリーを用いて $\hat{y}_i$ なる推定量を与えるとし，この $\hat{y}_i$ は，i 番目のものが反応しているアイテム j，カテゴリー k へ与えるべき数値 x_{jk} の和をとるものとする。すなわち，$\hat{y}_i$ と x_{jk} との間を線形関係にするという第1次近似を行い，次のように $\hat{y}_i$ を定義する。

$$\hat{y}_i=\Sigma_{j=1}^{R}\ \Sigma_{k=1}^{kj}\ \delta_i(jk)\,x_{jk}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

ただし，$\delta_i(jk)$ は次のような性質をもつデルタ関数である。すなわち

$$\left.\begin{array}{l}\delta_i(jk)=1,\ i\ \text{なるものが}\ j\ \text{アイテム，}\\ \qquad\qquad k\ \text{カテゴリーに反応を示すとき}\\ \delta_i(jk)=0,\ \text{そうでないとき}\end{array}\right\}(3)$$

さらに，i は各アイテム中少なくともどれか1つと反応を示すので次の性質を満足することになる。

$$\left.\begin{array}{l}\Sigma_{k=1}^{kj}\ \delta_i(jk)=1\\ \delta_i(jk)\cdot\delta_i(jk')=0,\ (k\neq k')\\ \delta_i(jk)\cdot\delta_i(jk')=1,\ (k=k')\\ \Sigma_{i=1}^{n}\ \delta_i(jk)=n_{jkj},\ (j\ \text{アイテム}\ k\ \text{カテゴリーに反応した総数})\\ \Sigma_{k=1}^{kj}\ \Sigma_{i=1}^{n}\ \delta_i(jk)=n,\ (\text{すべての}\ j\ \text{に対し})\end{array}\right\}(4)$$

つぎに，評価特性が（l アイテム m カテゴリー）に反応をしたもののうち（j アイテム k カテゴリー）にも反応を示すものの数，すなわち $f(lm,\ jk)$ を次式で定義する。

$$f(lm,\ jk)=\Sigma_{i=1}^{n}\ \delta_i(lm)\cdot\delta_i(jk)\cdots\cdots(5)$$

さて，(2)式のように $\hat{y}_i$ を定義したとき，$\hat{y}_i$ が y_i の最も精度よい推定量であるためには，y_i と $\hat{y}_i$ との差をできるだけ小さくすることが望ましい基準となる。そこで，n 個の観測データがあるとして，y_i と $\hat{y}_i$ との2乗和を最小にするという，いわゆる最小2乗法により x_{jk} なる数量を求めることにすれば以下のようになる。

$$Z=\Sigma_{i=1}^{n}\ (y_i-\hat{y}_i)^2$$
$$=\Sigma_{i=1}^{n}\ \{y_i-\Sigma_j\Sigma_k\ \delta_i(jk)x_{jk}\}^2\cdots\cdots\cdots(6)$$

この(6)式を最小にする x_{jk} が，さきのアイテム・カテゴリー c_{ik} に与えるべき数量であり，そのためには次式を満足しなければならない。

$$\frac{1}{2}\ \frac{\partial z}{\partial x_{uv}}=-\Sigma_{i=1}^{n}\ y_i\delta_i(uv)+x_{uv}n_{uv}$$
$$+\Sigma'_{j\neq u}\ \Sigma'_{k\neq v}\ x_{jkj}\,f(uv,\ jk)=0$$

すなわち

$$\Sigma_{i=1}^{n}\ y_i\delta_i(uv)=x_{uv}n_{uv}$$
$$+\Sigma'_{j\neq u}\ \Sigma'_{k\neq v}\ x_{jkj}\,f(uv,\ jk)\cdots\cdots\cdots(7)$$

但し，$u=1,\ 2,\cdots\mathrm{R},\ v=1,\ 2,\cdots,\ k_u$

ここで，Σ' は，$j\neq u$ および $k\neq v$ の和を意味する。

さて，この連立1次方程式を解くことにより，x_{jk} を求めることができるが，通常 y_i と $\hat{y}_i$ の各々の平均値が等しいとの条件を付加するほかに $x_{j1}=0\ (j=2,\ \cdots,\ \mathrm{R})$ なる R-1個の条件を付加して(7)式を解く方法が一般にとられている。ただし，x_{jk} については，上記方法により解を求め，それを x'_{jk} として次のような基準化を行って求める(注)。

$$x_{jk}=x'_{jk}-\frac{1}{n}\ \Sigma_{k=1}^{kj}\ n_{jk}x_{jk}$$

このようにして x_{jk} が決まれば，これを用いて各ア

(注)　このような方法をとることにより方程式の次数を少なくすることができ，数値計算が容易となる。

表 2　観 測 デ ー タ の 一 部

月	日	時刻	風速 (m/s)	天候	気温 (℃)	湿度 (%)	一部断熱施行温室温度 (℃)	一部断熱施行温室湿度 (%)	非断熱温室温度 (℃)	非断熱温室湿度 (%)	日射量 (cal/cm²·min)
8.	7.	1.	2.00	3.00	21.10	88.00	21.70	89.60	21.80	91.80	0.0
8.	7.	2.	2.00	3.00	20.60	88.00	21.10	89.50	21.70	91.70	0.0
8.	7.	3.	2.00	3.00	20.20	89.00	20.90	89.50	21.10	91.10	0.0
8.	7.	4.	2.00	3.00	20.00	89.00	20.00	88.00	21.30	91.10	0.0
8.	7.	5.	2.00	3.00	20.00	88.70	20.60	77.60	21.00	91.80	0.0
8.	7.	6.	2.00	3.00	20.10	87.20	21.00	77.90	21.50	91.80	0.04
8.	7.	7.	3.00	4.00	21.00	81.30	25.00	67.00	32.00	65.00	0.12
8.	7.	8.	2.00	4.00	20.00	82.20	41.50	61.20	45.00	47.00	0.12
8.	7.	9.	2.00	4.00	20.00	85.30	45.00	54.00	46.20	36.20	0.40
8.	7.	10.	4.00	3.00	19.90	86.00	44.90	54.90	46.10	41.60	1.00
8.	7.	11.	3.00	3.00	20.00	85.00	43.90	71.10	42.30	61.50	0.52
8.	7.	12.	3.00	3.00	21.00	80.00	49.00	63.00	51.40	45.70	0.66
8.	7.	13.	4.00	3.00	23.50	75.00	46.50	64.00	47.80	58.50	0.64
8.	7.	14.	4.00	3.00	24.90	64.10	42.60	68.20	44.20	55.30	0.12
8.	7.	15.	3.00	3.00	26.00	61.00	50.00	65.00	53.00	45.60	0.12
8.	7.	16.	1.00	1.00	26.60	60.60	49.70	63.80	48.70	53.60	0.04
8.	7.	17.	1.00	1.00	26.80	61.50	37.00	72.00	35.80	76.80	0.02
8.	7.	18.	2.00	1.00	25.40	70.50	32.50	84.20	32.60	84.90	0.0
8.	7.	19.	1.00	1.00	23.90	75.70	27.50	86.10	26.80	88.10	0.0
8.	7.	20.	1.00	1.00	22.90	81.50	24.90	89.00	24.00	90.50	0.0
8.	7.	21.	0.0	1.00	22.90	81.50	24.20	89.00	24.00	90.50	0.0
8.	7.	22.	0.0	3.00	22.30	84.30	23.10	88.50	23.70	90.00	0.0
8.	7.	23.	0.0	3.00	22.10	84.40	23.00	88.60	23.40	90.10	0.0
8.	7.	24.	0.0	3.00	21.80	86.00	23.10	88.80	23.50	90.20	0.0
8.	8.	1.	0.0	3.00	21.60	86.00	23.10	88.80	23.50	90.20	0.0
8.	8.	2.	0.0	3.00	21.40	85.00	23.00	88.90	23.40	90.20	0.0
8.	8.	3.	0.0	3.00	21.50	73.00	22.90	88.90	23.20	90.00	0.0
8.	8.	4.	0.0	3.00	21.10	75.00	22.80	88.90	23.00	89.70	0.0
8.	8.	5.	0.0	3.00	22.00	76.00	22.70	88.40	23.00	88.00	0.02
8.	8.	6.	5.00	3.00	21.10	84.80	22.90	88.80	23.40	83.90	0.24
8.	8.	7.	3.00	2.00	23.50	79.00	23.60	87.40	25.10	76.30	0.60
8.	8.	8.	4.00	2.00	25.60	64.00	26.00	83.60	28.40	70.00	0.52
8.	8.	9.	3.00	2.00	26.00	57.10	28.40	77.00	29.50	65.20	0.72
8.	8.	10.	3.00	3.00	26.10	57.50	36.10	69.00	39.00	50.70	0.64
8.	8.	11.	3.00	3.00	27.00	56.40	48.00	56.50	49.20	33.30	0.72
8.	8.	12.	3.00	3.00	26.20	52.10	65.00	61.00	47.60	38.00	0.56
8.	8.	13.	4.00	3.00	28.70	49.00	53.60	71.30	51.70	52.60	0.48
8.	8.	14.	4.00	3.00	25.50	50.00	47.90	62.80	44.80	51.90	0.40
8.	8.	15.	4.00	3.00	23.30	50.00	32.20	79.70	29.90	78.60	0.28
8.	8.	16.	5.00	3.00	29.70	49.00	26.50	86.10	27.90	82.00	0.04
8.	8.	17.	5.00	3.00	[illegible]	[illegible]	26.40	89.40	26.20	86.40	0.04
8.	8.	18.	5.00	3.00	[illegible]	[illegible]	24.50	90.00	25.80	88.60	0.02
8.	8.	19.	5.00	3.00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	90.00	24.90	90.60	0.0
8.	8.	20.	5.00	3.00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	90.00	24.70	91.00	0.0
8.	8.	21.	5.00	3.00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	85.90	24.40	92.70	0.0
8.	8.	22.	5.00	3.00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	89.80	24.00	91.90	0.0
8.	8.	23.	3.00	3.00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	89.80	23.90	92.00	0.0
8.	8.	24.	4.00	3.00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	89.80	24.00	92.00	0.0
8.	9.	1.	4.00	3.00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	89.90	24.00	91.50	0.0
8.	9.	2.	4.00	3.00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	89.70	23.70	92.00	0.0
8.	9.	3.	4.00	3.00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	89.60	23.40	92.00	0.0
8.	9.	4.	3.00	4.00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	89.60	23.00	92.00	0.0
8.	9.	5.	3.00	4.00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	89.50	22.90	92.00	0.12
8.	9.	6.	2.00	4.00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	89.50	25.10	85.70	0.20
8.	9.	7.	5.00	3.00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	75.50	32.90	63.00	0.72
8.	9.	8.	5.00	3.00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	59.80	51.10	52.10	0.68
8.	9.	9.	5.00	3.00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	66.50	55.00	51.60	1.00
8.	9.	10.	7.00	3.00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	65.00	59.20	41.60	1.00

天候の表示法

快晴	0
晴	1
薄曇	2
曇	3
雨	4

イテムと評価特性の関係を相関係数を用いて評価することができるほか評価特性の観測量 y_i と（2）式で与えられる評価量 $\hat{y}_i$ との相関係数（重相関係数）を求めることにより，これを評価特性 y の変動を説明する尺度とすることができ，かつ評価特性 y と各アイテムとの純粋な関係，すなわち評価特性 y から注目するアイテム以外の関係を除去した後の変動と注目するアイテムから他のアイテムとの関係を除去した後の変動との相関係数（偏相関係数）を求め，これを評価尺度として，各アイテムと評価特性 y との関係を評価することも可能となる。

以上は，数量で与えられた評価特性 y が，アイテム・カテゴリーという質的要因によって与えられた場合であるが，要因が質・量混合の場合も同様に扱えることが文献（1）で提示されている。

2. 2　実験装置および測定項目

実験に使用した簡易温室を図1に示す。骨組は50×50のL型鉄骨による構造とし，床面と北側壁面を

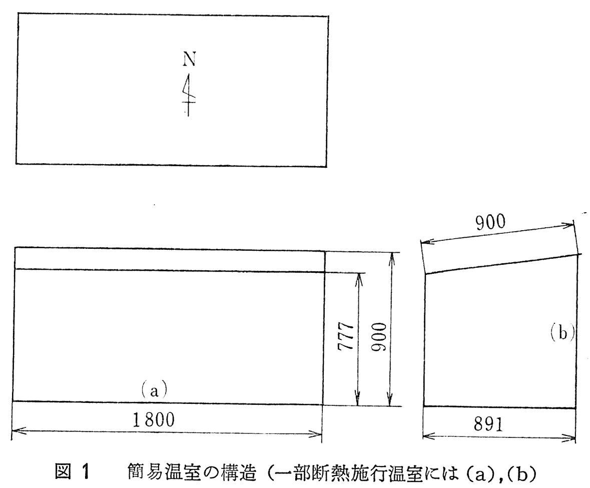

図 1　簡易温室の構造（一部断熱施行温室には (a),(b) 2つの面に厚さ 20mm の発泡スチロールを内張り）

除いて 5 mm 透明塩化ビニール樹脂板で覆い密閉構造とした。また，床面と北側壁は，5 mm のベニヤ板のみのもの（以下非断熱温室と呼ぶ）と 5 mm のベニヤ板に内側から厚さ 20 mm の発泡スチロール板を張り，床面と北側壁面からの熱伝達による熱損失を極力小さ

くするようにした対照温室（以下一部断熱施行温室と呼ぶ）を作成しその性能を温室内温度および湿度を評価特性としてこれらの比較を行った。

温室内および周囲環境に関する計測装置としては，ロビッチ型自記日射計，自記温湿度計および風向・風速計を用い，計測された全天日射量，外気温湿度，風向・風速の緒量については1時間平均値を算出，使用した。また，天候については，快晴，晴，薄曇，曇，雨，雪などの分類法を用いた近くの消防署での3時間毎の観測データを使用した。この観測データの一部を表2に示す。

3. 解析結果

表2のように得られた984時間の観測データについて，温室内温度および湿度に対する月，時刻，天候の各カテゴリー変数に対する数量化の結果，すなわち j アイテム，k カテゴリーに与えられた数量 x_{jk} を表3に示す。この表から室温の変動に対するカテゴリー変数の影響度を考察すれば，月による変動巾は一部断熱施行温室では約 4°C，非断熱温室では約 2°C，時刻による変動巾はそれぞれ約14°C，8°C，天候によるそれはそれぞれ約 6°C，4°C である。また温室内湿度に対しては，月による変動巾は一部断熱施行温室では約22%，非断熱温室では34%，時刻による変動はそれぞれ約33%，26%，天候によるそれはそれぞれ約3%，4%であり，室温および湿度は，ともに時刻による変動が大きく，月および天候の室温に対する影響度合は小さいことがわかる。したがって，実験に用いた温室は，室温，湿度ともに日周変化が顕著にあらわれることを意味している。カテゴリー変数である時刻に与えられた数量 x_{jk} は，この日周変化に対応するものであってこれをグラフ化すると図2のようである。

この図から温度については，日の出後3～4時間後の9時から日没直前の16時まで高く，南中時前後の11～13時頃に室温をもっとも高める効果をもつことがわかる。また，湿度はこの逆の関係にあり，日没直後から日の出直後までの夜間に湿度を高める効果をもつことがわかる。さらに，温度変化パターンのもっとも特徴とするところは，一部断熱施行した温室の断熱による効果が顕著であり，日中高温となることである。これは，わずかな断熱施行でもその熱漏洩による損失を防止する効果の大きいことを示しているものと思われる。また，室温と湿度の関係は，温室を閉じた系に近いものと仮定し，周囲環境と熱以外の物質の収支がないものとすれば，日中の温室の高温時には飽和水蒸

表3 評価特性に対するカテゴリー変数の重み係数（x_{jk}）

カテゴリー変数		一部断熱施行温室		非断熱温室	
アイテム	カテゴリー	温度(°C)	湿度(%)	温度(°C)	湿度(%)
月	8月	2.91	15.57	0.35	8.09
	9月	—	—	−1.07	15.09
	11月	−0.61	0.48	0.49	−5.65
	12月	−0.88	−6.17	0.51	−18.63
時刻	1時	0.97	30.48	2.13	28.25
	2時	0.83	30.66	2.19	28.00
	3時	1.47	29.41	2.59	26.49
	4時	2.48	27.79	3.82	24.81
	5時	1.32	28.97	2.77	26.31
	6時	0.31	30.47	2.46	25.73
	7時	0	29.43	3.50	19.63
	8時	2.47	19.54	5.59	11.35
	9時	7.00	5.33	8.50	6.28
	10時	11.40	2.31	9.22	7.49
	11時	12.49	1.36	9.65	8.19
	12時	13.52	2.57	8.72	9.69
	13時	13.81	0	8.38	12.04
	14時	11.02	6.60	7.45	12.33
	15時	8.63	12.86	6.50	18.83
	16時	7.15	21.91	5.57	22.46
	17時	3.37	30.02	3.24	30.54
	18時	1.50	33.01	2.26	32.28
	19時	1.35	33.12	2.11	31.81
	20時	1.63	31.55	2.03	30.71
	21時	1.37	30.60	2.18	30.34
	22時	1.04	31.51	2.00	29.98
	23時	1.12	31.14	2.05	29.27
	24時	0.78	30.82	1.96	29.10
天候	快晴	0.34	0.37	0.01	−0.12
	晴	−0.48	1.49	0.33	−0.50
	薄曇	−4.13	1.79	−3.87	3.72
	曇	0.26	−1.21	−0.03	0.04
	雨	1.48	−1.48	0.21	0.42

表4 評価特性に対する数量因子の重み係数（β_j）

	一部断熱施行温室		非断熱温室	
	温度	湿度	温度	湿度
風速	−0.191	0.345	−0.204	0.678
大気温	0.929	−0.771	1.175	−1.505
大気湿度	−0.066	0.129	−0.080	0.144
日射量	18.469	−22.38	17.971	−23.443
定数	3.174	56.52	1.219	75.09

気量が増大し，それにともなって相対湿度が減少し，夜間にはこの逆の関係がある。以上のように，温室内の温湿度の日周変化は，温湿度の物理的関係をよく説しているといえる。

次に，温室内の温度と湿度に対する周囲環境因子のうち数量因子である風速，大気温，大気湿度，日射量に対する係数を表4に示す。この係数は数量因子1単位の変動に対する温室の評価特性の変動量を表わすものであるが，これらの数値からみると非断熱温室は，日射量を除いて一部断熱施行温室より全般に同係数の

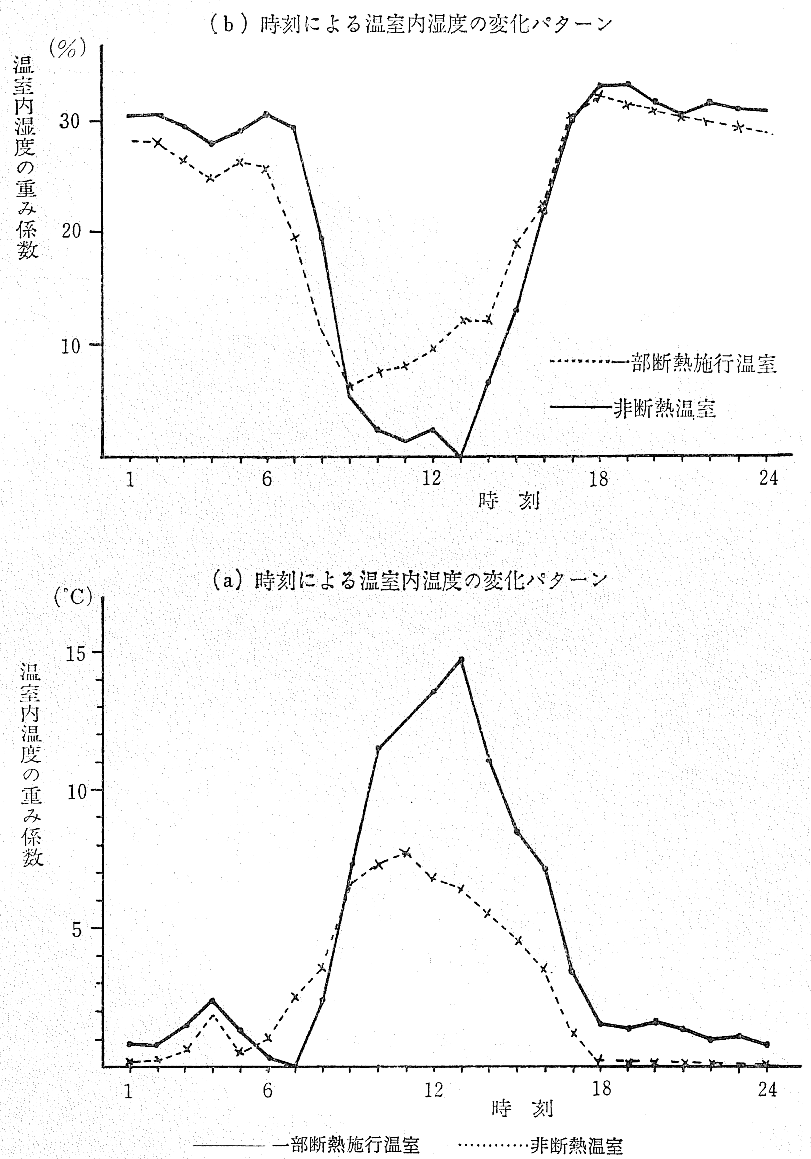

図 2　時刻による評価特性の変化パターン

表5　評価特性と影響因子間の偏相関係数

	一部断熱施行温室		非断熱温室	
	温度	湿度	温度	湿度
月	0.097	0.298	0.137	0.513
時刻	0.488	0.545	0.371	0.494
天候	0.196	0.112	0.162	0.073
風速	−0.094	0.081	−0.120	0.172
大気温	0.419	−0.213	0.899	−0.500
大気湿度	−0.242	0.210	−0.300	0.215
日射量	0.569	−0.314	0.597	−0.375

値が大きいことから周囲環境因子の影響をうけ易いことがわかる。この関係をさらに明確にするために，評価特性と各因子の偏相関係数を求めた結果が**表5**である。(〔**付録1**〕参照)

この表の数値は，相関係数と同様に±1の範囲にあってその絶対値が大きいもの程互いの関係度合が強いことを意味している。月，時刻，天候などのカテゴリー変数と温室の評価特性との間の偏相関係数の大きさは，大気温度，大気湿度，日射量，風速という数量因子では説明しえないいわゆるブラックボックスの部分による温室の評価特性への変動の度合を表わすものであるが，このブラックボックスの変動部分のうち時刻はここで取り上げた数量因子と比較しても評価特性との偏相関係数が大きいことから重要な因子であることがわかる。しかし，このカテゴリー変数は，評価特性との物理的関係を直接説明するものではないので，今後ブラックボックスの変動要因が，何であるかを明らかにする必要があろう。

次に，数量因子である風速，大気温度，大気湿度，日射量等と温室内温度との関係を偏相関係数によって考察する。この数量因子のうち大気温度，日射量とは正の相関があることはその因果関係から明らかであるので，風速の温室内温度に対する負相関と大気の相対湿度の負相関についてまず考察する。

さて，周囲環境の風速と室温の関係が負相関であることは，風速の増加にともなって室温が下がることを意味している。このことは風速が増すことによって，温室の壁と周囲環境大気との間の熱伝達効果が大きくなるという現象を説明しているものである。しかし，統計的に意味があっても偏相関係数が小さいことは，塩化ビニール樹脂板の熱伝導率が小さいことに起因して周囲環境条件のうち風速の影響度を弱めたことを意味しており，同材の厚さの変化による影響も当然あることが推測されるが，これによる影響については，今後の研究課題である。また，大気の相対湿度と室温の負相関は，大気が乾燥状態にあれば，室温が高くなることを意味している。これは壁面上での大気中の水蒸気に潜熱をうばわれる関係をあらわしているものと考えられる。

さらに，注目すべきことは，温室の周囲環境条件をあらわす数量因子と評価特性である温室内温度および湿度との偏相関係数が，北側壁面と床面を発泡スチロ

ールで断熱したいわゆる一部断熱施行温室よりも非断熱温室のものが大きいことである。これは，非断熱温室が周囲環境条件とくに大気温の影響を受け易いことを意味している。すなわち，同一実験期間中これら2つの温室の差異がこの点に明確にあらわれてきていると思われる。大気温と一部断熱施行温室の室温の偏相関係数が 0.42 であるのに対して，非断熱温室のそれは0.9と2倍以上にもなり，室温の変動に対する影響度合は，この係数のほぼ2乗に比例するので，大気温の変動は約4倍の影響度合をもち，これは断熱材を施していない温室は，断熱材を施した温室に比較して外気温に影響され易いことを示している。したがって，この程度の断熱材を施行しただけで，温室内温度へ与える影響度は顕著でその効果の大きいことがわかり非断熱温室は，日射量の影響よりも熱漏洩による熱損失の大きいことを示している。

以上偏相関係数により数量因子と評価特性の関係を考察してきたが，この偏相関係数は，温室の評価特性とそれに影響する因子の純粋な関係度合を示す尺度であるから，この係数値の絶対値の大きさをもって評価特性に対する影響度合の順位と考えてもよい。この観点からすると，数量因子のうち日射量，大気温が温室の温湿度に与える影響が最も大きいといえる。しかし，気温の変動は日射光線の放射や熱放射に起因して生ずるものであるから，日射量と気温を独立したものと考えず，温室内温度の変動を直接支配する因子として日射量を考え，2次的な影響因子として大気温の影響を考えるべきであろう。このような立場からすれば，非断熱温室では，この日射光線により放射加熱される効果よりも大気に漏洩する熱量が大きく，この影響が大であることを意味している。またカテゴリー因子との偏相関は，さきに述べたように，数量因子では説明しえない変動部分を説明するブラックボックスの変動部分であって，評価特性の日周変化や月間変動が，ここでとりあげた数量因子以外の他のものによって説明されることを意味しており，このブラックボックスの部分については今後の研究課題といえる。

このように種々な因子間の関係が判ることのほかに，当然のことながらカテゴリー因子と数量因子を用いることにより，評価特性である温室内の温湿度の変動の程度を予測説明することも可能であり評価特性の予測評価する尺度として重相関係数 R などがあり**表6**中に示されている。

この重相関係数 R は，前章で述べたように，各アイテム・カテゴリーの数量 x_{jk}（**表3** の数値）と数量因子に対する重み係数 β_j（**表4**の数値）を用いて評価特性 $\hat{y}_i$ を（2）式により計算し，これと観測結果 y_i との相関関係をあらわしたものである，この R は，$0 \leqq R \leqq 1$ の範囲にあって1に近い値であればある程評価特性の変動をより実際に近く説明していることを意味している。このことから今回の実験データの解析結果では。温室の評価特性とした温湿度の変動を（2）式によってかなりよく説明しえたとみることができる。さらに，同表中の寄与率は評価特性の変動を100％としたとき（2）式の予測式によって説明しうる変動の割合をあらわす尺度であって，この評価尺度からみて（2）式によって室温の90％以上，湿度の80％以上を説明できることを意味している。しかし，これ以外の変動すなわち室温にあっては残りの約10%，湿度にあっては約20%は,（2）式では説明しえない変動であって，これをあらわす尺度が同表中の推定誤差の標準偏差である。この結果をみると，室温については約 4°C，湿度については約10％程度の誤差があることになる。また（2）式によって予測推定した計算による室温と実際に観測した室温とを時系列を横軸に両結果を比較して示した図が**図3**である。（予測計算の方法については〔**付録2**〕参照）

表6　評価特性の式（2）による予測の程度を示す尺度

	一部断熱施行温室		非断熱温室	
	温　度	湿　度	温　度	湿　度
寄　与　率（％）	90.82	79.63	92.95	81.14
重相関係数 R	0.953	0.892	0.964	0.901
推定誤差の標準偏差	4.70	10.03	4.09	9.46

同図から室温に対してやや推定誤差が大きいことがわかる。しかし今回の解析は予測の可能性もさることながら，周囲環境因子の影響の順位づけを中心とした評価方法の妥当性を検証するために試みたものでもあるから，（2）式のような簡単な1次近似関数によっても評価特性の変動のほとんどを説明していること，および周囲環境因子の温室へ与える影響度合の順位づけができ，評価特性と影響因子の物理的関係が矛盾なく説明しえたことなど評価方法の有効性を示すことができたことで大変有意義であったと考えられる。なお，予測の可能性を議論する場合には，時刻別に予測式をかえるなどして精度を増す方法を考える必要があり，かつ予測式自体もさらに検討する必要があり，この点今後の検討課題になろう。

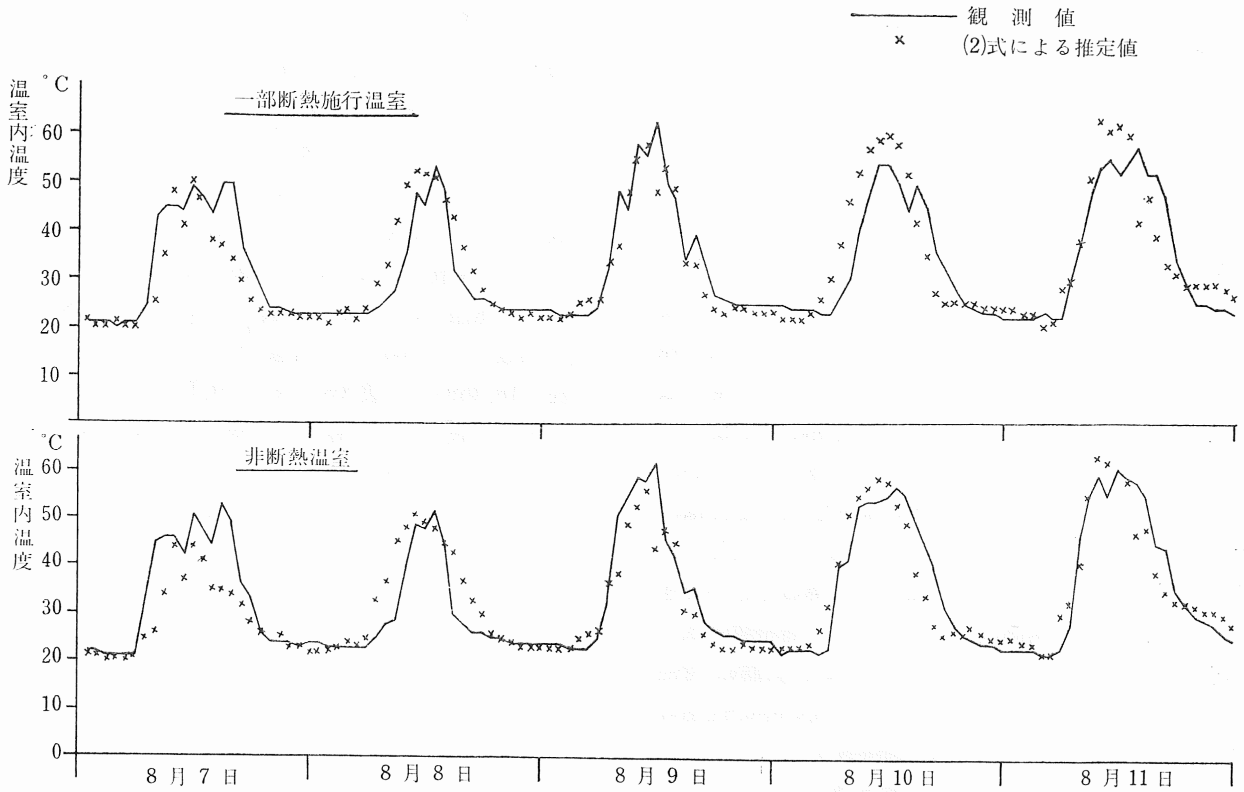

図3　温室内温度の測定値と推定値　(昭和51年8月)

4. 結　言

本論では，太陽エネルギー利用技術の新規開発や技術改善の過程で行われる比較対照試験を想定し，得られた実験データを解析する場合に有用となる統計手法を提示し，簡易温室を例に解析手法の有効性を明示した。

提示した解析手法は，評価特性に影響を与える因子として数量的に扱いうる因子ばかりではなく，単にある種の基準にしたがって分類されるような因子（カテゴリー因子）を含む場合にも適用可能な線形近似関数によるもので，この線形近似関数を導出する過程で，評価特性の変動の起因となる影響因子の順位づけを行うことが可能である点から本手法は技術改善の評価方法としても有用であり，このことは評価特性と影響因子の関係が物理的意味において何ら矛盾なく説明しえたことによっても立証されている。さらに，評価特性の変動を十分に説明しうる場合には，予測式としてもこの方法を適用しうるものである。なお，カテゴリー因子の変動が大きい場合は，解析対象とする現象のブラックボックスの変動部分の存在の大きさを示すものであるから，同因子を何らかの方法で数量因子化し，評価特性の変動の因果関係を明らかにするための1段階として，この解析手法を利用しうることも考えられる。

このように，この解析手法は太陽エネルギー利用技術の新規開発や技術改善の過程で行われる実験データの解析に対し一般性を失うことなく適用することができることから技術改善の評価の一助となりえよう。著者らは，現在この手法を用いて，集熱器，蓄熱槽の評価解析を行うことを計画しており，これらの結果については今後の機会に逐次公表する予定である。

最後に，本論文をまとめるにあたって実験に協力して頂いた佐々木英典，小林望，永尾九美男の3君に深甚なる謝意を表すと共に，ここで行なった各種統計計算は，明治大学計算センターの諸氏の協力によるもので，付して感謝の意を表わす。

参　考　文　献

1）林知己夫：数量化の方法，東洋経済新報社

2）小林龍一：相関・回帰分析法入門，日科技連出版社

〔付　録　1〕

一般に2つの特性 x_1 と x_2 に対し n 個の測定値 x_{1i} と x_{2i}，$(i=1,\ 2,\ \cdots\cdots,\ n)$ がえられたとすれば，その関係をあらわす尺度として相関係数 r があり次式で定義されている。

$$r=\frac{\Sigma^{n}_{i=1}(x_{1i}-\bar{x}_1)(x_{2i}-\bar{x}_2)}{\sqrt{\Sigma^{n}_{i=1}(x_{1i}-\bar{x}_1)^2\,\Sigma^{n}_{i=1}(x_{2i}-\bar{x}_2)^2}}$$

ただし，

$$\bar{x}_j=\frac{\Sigma^{n}_{i=1}x_{ji}}{n},\ j=1,\ 2$$

いま，特性 x_1，x_2 のほかに第3の特性 x_3 があり，この x_3 が x_1 と x_2 とに影響がある場合，すなわち3つの特性間に相関関係があるときには上式の相関係数は，x_1 と x_2 の純粋な関係を表わす尺度とはならない。なぜならば x_1 と x_2 の変動の中には x_3 による変動部分が混在しているからである。したがって，もし x_1 と x_2 の間の純粋な関係を求めるには，x_1 と x_2 の変動の中から x_3 の変動部分を除去したのちに相関係数を計算することによって得ることができる。このような相関係数を x_1 と x_2 の偏相関係数という。一般に，x_1，x_2，……，x_p なる p 個の特性があり，互いに相関関係があるとき，その中の任意の2特性 x_l，x_k，$(l\neq k)$ の偏相関係数を求めることによって2つの特性間の関係を考察することができる。

〔付 録 2〕

図3で求めた推定値の計算方法は，たとえば8月7日1時の一部断熱施行温室の室温の推定計算を例に示せば次の通りである。（**表2**のデータ表，**表3**，**表4**の重み係数及び（2）式参照）8月の月に対する重み係数（2.91）＋時刻1時の重み係数（0.97）＋風速2.0 m/s×重み係数（−0.191）＋天候〃曇〃の重み係数（0.26）＋気温 21°C×重み係数（0.929）＋湿度88%×重み係数（−0.066）＋日射量 0 cal/cm²/min×重み係数（18.469）＋定数（3.174）＝20.7（°C）

以上〔付録1〕，〔付録2〕に対する理解を深める成書として文献2）をあげておく。

（原稿受理　昭和52年6月27日）

註）月，時刻，天候に関する重み係数は表3，風速，気温，湿度，日射量，定数に関する係数は表4，観測データに関しては表2を参照