

ファジィ測度による多変量解析とその気象への応用*

柳原 一夫**

要 旨

ある変量と他の複数の変量との関係が線形回帰によっては十分に表せない様な場合、変量集合に与えるファジィ測度とそれを集積するショケの積分を使って関係を解析する新しい手法を開発した。ファジィ理論が対象とする人間絡みの変量の場合はもちろん、自然現象間の関係でも気象のように複雑な現象の場合には、この手法が有効と考えられる。人間行動に与える気象の影響および地上気温と500mb高度偏差の関係解析に応用して好結果がえられた。

1. はじめに

ある変量がいくつかの他の変量で表現されると考えられ、それらのデータの組が多数あってその変量間の関係を求めようとするとき、普通に用いられる方法は重回帰分析である。しかし、各変量の寄与を測る尺度すなわち重回帰式の各係数が他の変量に無関係に一定でそれぞれの変量の寄与の和をとると、言う前提がいつも成立するとは必ずしもいえない。特に人間が絡む変量の場合にはそうであろう。人間の行動は気象状態に影響されるが、気温、湿度、雨、風などのそれぞれの要素の寄与を測って足し算して判断するというより、むしろ複数の要素を一括して総合的に判断すると考えた方が自然である。また自然現象間の関係であっても気象のように複雑な現象の場合には同様に、個々要素の寄与の和という前提が満たされるという保証はない。

このような場合、従来の解析では非線形な関係を導入したり、層別化の手法を使うことが行われてきたが、与えられた情報量という制約のもとで有意な関係を導くことは容易でない。

これに対して、ファジィ測度は対象となる要素群の集合に与えられる尺度である。この測度はもともとファジィ理論の中で、人間の思考のうち評価、価値判断などの尺度を表すのに適した量として導入された測度である。

複数の関係要素がある場合、単独の要素にたいする尺度から出した量の合成では総合評価ができなく、複数の要素に対してはその要素集合に固有の尺度があるという考えである。ある要素集合に対するファジィ測度は、その集合を含むより大きな集合に対するファジィ測度より大きいことはない、という単調性の制約のもとに、人間思考の価値判断における尺度をよく表しているといわれる。人間思考に限らず一般に重回帰分析において、各説明変量の寄与の単純和という前提の成立に疑問があるとき、ファジィ測度が集合に対して与えられるという特長を使って、それを尺度とし各集合の寄与を積算するファジィ積分を多変量解析の基礎において解析すると有効であろうと考えられる。

多変量間関係の解析は、理想的にいえば、説明変量を座標とする多次元空間の各座標毎に目的変量の値を与えることであろうが、限られたデータ数のもとでは一般的にいつてももちろん困難である。ファジィ測度を用いる解析は、単純な一次近似である線形回帰と理想的関係の中間にあって、説明変量の相対的大きさという情報を生かした新しい解析手法である。

ファジィ測度を用いる多変量解析の具体的方法を開発し、人間行動における気象の影響の解析および500mb高度偏差と地上気温との関係の解析に応用して好結果をえた。

2. ファジィ測度とショケの積分

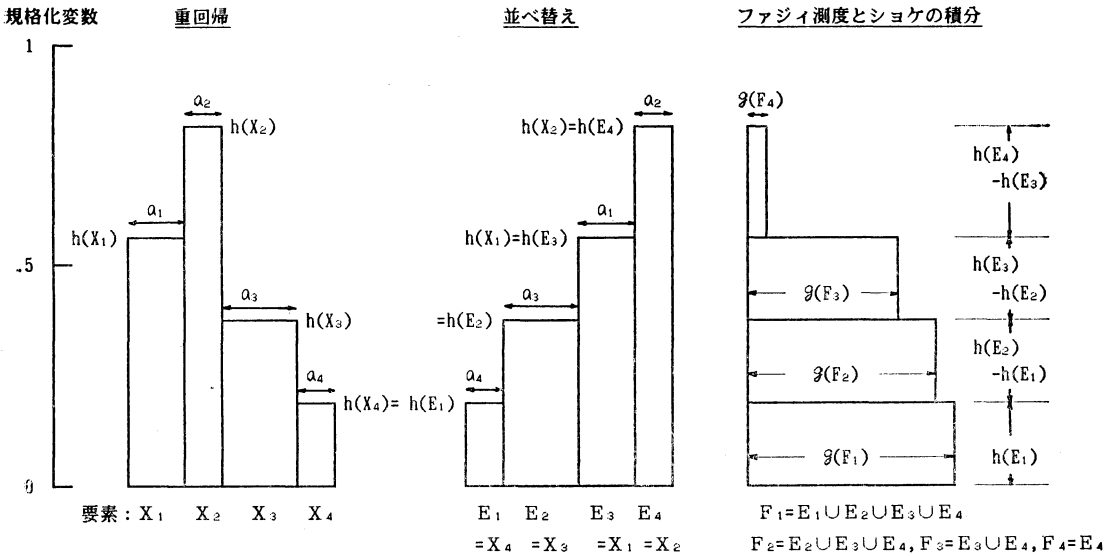
ファジィ測度は、次のように定義されている(菅野, 1987)。

* Multivariate analysis using Fuzzy-measure and its application to meteorology.

** Kazuo Yanagihara, 日本気象協会.

—1990年9月2日受領—

—1991年1月25日受理—



第1図 重回帰分析とファジィ解析の比較概念図。

説明変数の数 $n=4$ の場合。

ある集合 X を考えた場合、 X の部分集合 E, F などを区間 $[0, 1]$ の数値に対応づける関数 g がつぎの性質を持つとき、ファジィ測度という。

$$g(\phi) = 0, g(X) = 1 \tag{1}$$

$$E \subset F \text{ ならば } g(E) \leq g(F) \tag{2}$$

$E_1 \subset E_2 \subset \dots$, あるいは $E_1 \supset E_2 \supset \dots$ ならば

$$\lim_{n \rightarrow \infty} g(E_n) = g(\lim_{n \rightarrow \infty} E_n) \tag{3}$$

ここに ϕ は空集合を表す。性質(1)は有界性、(2)は単調性、(3)は連続性を示している。いま、集合 X は説明変数を与える要素群 X_1, X_2, \dots, X_n (n は要素の数)の全体集合であるから有限集合であって(3)の条件は不要である。部分集合 E, F は X_1, X_2, \dots, X_n から集合演算をほどこしてえられる集合を意味し、このようなすべての集合に対してファジィ測度が定義される。また(2)の条件は次のようにも書き換えられる。

$$g(G \cup H) \geq g(G) \vee g(H) \tag{2'}$$

ここに記号 \vee は MAX をとる演算を意味し、この場合 $g(G)$ と $g(H)$ の大きい方をとることを意味する。もし、(2)あるいは(2')を加法性の条件

$$G \cap H = \phi \text{ なるとき, } g(G \cup H) = g(G) + g(H) \tag{4}$$

で置き換えれば、通常のルベーク測度である。単調性の条件(2)あるいは(2')は加法性を特殊な場合として含むから、ファジィ測度はルベーク測度を含みそれを拡張

したものといえる。ファジィ測度を多変量解析に使う場合には、同様に重回帰式を加法性の成立する特殊な場合として含む拡張になっていることが望ましい。このためには、各集合の寄与を積算するファジィ積分としてショケの積分(菅野, 1988)を使う。

各説明要素 X_i のとる値すなわち説明変数を、 $[0, 1]$ の区間に規格化して $h(X_i)$ とする。一つのデータの組 $h(X_i)$ ($i=1 \sim n$) について大きさの順に並べ換え、小さい方から順番に $h(E_1), h(E_2), h(E_3), \dots, h(E_n)$ とする(第1図)。 X_i と E_j との関係は図の場合 $E_1 = X_4, E_2 = X_3, E_3 = X_1, E_4 = X_2$ である。集合 F_i を

$$F_i = E_i \cup E_{i+1} \cup \dots \cup E_n \tag{5}$$

とし、 F_i のファジィ測度を $g(F_i)$ とすれば

$$\sum_{i=1}^n (h(E_i) - h(E_{i-1})) \cdot g(F_i), (h(E_0) = 0) \tag{6}$$

はショケの積分とよばれるものである。 $g(F_i)$ の満たすべき単調性の条件(2)は第1図の場合 $g(F_1) \geq g(F_2) \geq g(F_3) \geq g(F_4)$ である。

重回帰式の場合、目的変数 Y が

$$Y = a_0 + \sum_{k=1}^n a_k \cdot h(X_k) + \delta \tag{7}$$

と表されるのにたいし、いまは

$$Y = Y_0 + V \cdot \sum_{i=1}^n (h(E_i) - h(E_{i-1})) \cdot g(F_i) + \delta \tag{8}$$

とおく、ここに、 Y_0, V は常数、 δ は残差 (誤差を表す) である。

ファジィ測度 $g(F_i)$ が加法性を満たせば式 (8) と式 (7) とが一致することは容易に確かめられる。

3. 条件付き最小二乗法

ファジィ測度による多変量解析は、式 (8) に基いて、多数のデータから条件 (1), (2) を満たしかつ残差の二乗和 $\sum \delta^2$ を最小にする $g(F_i)$ を求めようとするものである。

この際、 $g(F_i)$, 説明変数ともに正の量で定義されているから式 (8) の V も正の量としてそれに合うように変数の増減方向を調整しなければならない。重回帰分析の結果を参考にすれば重回帰式の係数が負になる説明変数の符号を反転する。その上で MIN が 0, MAX が 1 になるように規格化して $h(X_i)$ を求める。ただし重回帰式の係数を参考にするのは便宜手段であるから、係数が小さい場合などには符号そのままの場合と符号を反転した場合と両方について解析してみる必要があろう。

目的変数 Y については必ずしも規格化の必要はないが、計算の都合、特に V を 1 に近い値とするために、説明変数と同様に $[0, 1]$ の区間に規格化しておいた方が便利である。いずれにせよ式 (8) においては常数 Y_0, V の数値が変わるだけであるから、ここでは式 (8) は規格化してない表現としておく。

N 個のデータのそれぞれについて規格化された説明変数 $h(X_i)$ から χ の積分の被積分変数 $h(E_i) - h(E_{i-1})$ の値がえられる。これは説明変数の数と同じ n 個だけある。そのそれぞれに対応する集合 F_i はデータ毎に同じ i にたいして異なる集合を意味するので不便である。集合の数は全体で $m = 2^n - 1$ 個であって、そのそれぞれの集合に対してあらためて番号をふり、 k 番目の集合を G_k , 集合 G_k のファジィ測度を $g(k)$ と表すことにする。また、 $F_i = G_p$ であるとき、 χ の積分の被積分関数は

$$h(E_i) - h(E_{i-1}) = x(p)$$

と表すことにする。このようにすれば、

$$g_i(p) = V \cdot g(p) \tag{9}$$

とおいて、式 (8) は、

$$Y = Y_0 + \sum_{p=1}^m g_i(p) \cdot x(p) + \delta \tag{10}$$

となる。ただし実現していない集合 G_q に対しては $x(q) = 0$ である。式 (10) は $x(p)$ を説明変数、 $g_i(p)$ を係

数とする重回帰式と同等である。

しかし $g(p)$ は条件 (1), (2) を満たさなければならぬので、 $g_i(p)$ にも、 $V > 0$ のもと、つぎの条件が付いている。

$$g_i(p) \geq 0 \tag{11}$$

$$G_p \subset G_r \text{ なるとき } g_i(p) \leq g_i(r) \tag{12}$$

したがって、式 (9) に基づいて $g_i(p)$ を求めることは、条件付き最小二乗法を解くことを意味する。

4. 計算方法とモデル選択

式 (10) を基礎にして、 N 個のデータから $Y_0, g_i(p)$ ($p = 1 \sim m$) を求めるとき、残差を δ_i ($i = 1 \sim N$) とすれば、残差二乗和 S , S の微分 D_k ($k = 0 \sim m$) は、

$$S = \sum_{i=1}^N \delta_i^2 \tag{13}$$

$$D_0 = \partial S / \partial Y_0, D_k = \partial S / \partial g_i(k), (k = 1 \sim m) \tag{14}$$

である。いま条件 (11), (12) を満たす解を可能解、可能解のうち S 最小のものを最適解ということにする。条件 (11), (12) は等号または不等号で表されているから、可能解の G_p ($p = 1 \sim m$) はつぎの 3 つの種類に分かれる。

- i) G_a : $g_i(a) = 0$ である集合。集合の数 m_1 .
- ii) G_b : $r \ni b$ であるすべての集合 G_r に対して $g_i(b) \ni g_i(r)$ である集合。集合の数 m_2 .
- iii) G_c : 1 個または複数個の集合 G_{c_j} ($c_j \ni c$) に対して $g_i(c) = g_i(c_j)$ である集合。この種類の集合は $g_i(c)$ 等の値の等しい集合のグループをつくる。このグループの数 m_3 .

もし、この可能解が最適解であれば、ii) の m_2 個については $D_b = 0$ であり、iii) の m_3 個のグループについては 1 グループ毎に微分 D_{c_1}, D_{c_2} 等の和 $\sum D_c$ は $\sum D_c = 0$ である。i) については寄与がなく不要である。したがって、最適解における種類分けが判明していれば、

$$D_0 = 0, D_b = 0(m_2 \text{ 個}), \sum D_c = 0(m_3 \text{ 個}) \tag{16}$$

の $m' + 1$ 元連立方程式を解いて最適解の $Y_0, g_i(p)$ を求めることができる。ただし、

$$m' = m_2 + m_3 \tag{17}$$

である。

しかし、(15) の種類分けの組合せは多数あって、直ちに最適解の組合せを知ることは困難である。そのため、

一つの可能解から出発して逐次近似の方法を使用し最後に(16)を解く。逐次近似は次のように行う。

可能解について(14)を計算し、ある集合 G_k について $D_k \neq 0$ なら $D_k = 0$ に近づくよう $g_i(k)$ の値を変え、条件(11)の下限に達したら零とし、条件(12)の等号に達したらその $g_i(k)$ と追いつかれた $g_i(*)$ の値を等しくして微分の和 $D_k + D_*$ が零に近づくようその $g_i(k)$, $g_i(*)$ の値を変える。それがさらに条件(11), (12)の限界に達したら、同様の処理を繰り返して $g_i(k)$, $g_i(*)$, ……等々の値を変える。最後に $D_0 = 0$ となるように Y_0 の値を変える。これでこの集合についての1回の処理を終わりとし次の集合に移り、 m 個の全集合について1巡する。この1巡を何回か行えば次第に最適解に近づく。

なお、出発点の可能解としては、重回帰分析の結果から加法性の条件(4)が成り立つものとして計算した値を使う。

逐次近似は最終的に最適解に到達するが、終わり頃になると収束が遅々としてくるので、逐次近似が数回進んだところで式(16)の $m'+1$ 元連立方程式を解く。この解が全ての G_k について、

- $$\left. \begin{array}{l} \text{a) 条件(11), (12)に抵触しないこと,} \\ \text{b) } g_i(k) \text{の値を条件(11), (12)に違反し} \\ \text{ない範囲内で変えたとき, 残差二乗和} \\ \text{Sが大きくなること} \end{array} \right\} (18)$$

を確かめる。(16)の解が(18)を満たすときが最適解である。もし(18)を満たさないなら、再び逐次近似に戻って近似を進めたい(16)を解く。

このようにして求めた最適解は $m'+1$ 個の常数を持っている。一般に $m' > n$ であるから重回帰式より説明変数の数が多い。したがってこの最適解によるファジィモデルが重回帰モデルより優れているか否かは検討を要する。このためには赤池情報量基準(AIC)を使う。自由パラメータの数は誤差分散の1個を加えて、ファジィモデルでは $m'+2$ 、重回帰モデルでは $n+2$ である。ファジィモデルのAICをAIC(F)、重回帰モデルのAICをAIC(M)として、 $AIC(F) < AIC(M)$ ならファジィモデルの方が優れているといえる。

ファジィモデルのファジィ測度 $g(k)$ 等は式(9)から計算できる。このときVの値は、全体集合Xのファジィ測度 $g(X)$ が定義(1)により1であることから $V = g_i(m)$ ($G_m = X$) によって与えられる。

二つのファジィ測度が近接した値でかつその集合に包

第1表 日配食料品の売行き季節変化のモデル比較。

品 目	相 関 係 数		AIC 差
	重 回 帰	ファジィ	
牛 乳	0.636	0.843	-16.0
ヨーグルト	0.635	0.767	-7.0
果 実 飲 料	0.967	0.989	-21.1
鶏 卵	0.817	0.943	-25.4
納 豆	0.588	0.854	-18.1
豆 腐	0.552	0.830	-20.1
油 揚 げ	0.771	0.907	-20.6
う ど ん	0.974	0.995	-35.8

AIC 差は $AIC(F) - AIC(M)$ 、その負値はファジィモデルの方が優れていることを表す。
データ数 $N=25$ 、説明変数の数 $n=3$ 。

含関係があるときは、それらの値を等しいとして新たに(15)を分類し直して(16)を解いてみる必要がある。その解が(18)のa)を満たしかつそのAICが最適解のAICより小さいときは、この解の方をファジィモデルとして採用する。AIC(F)はこの解のAICである。与えられたN個のデータでは、数学的最適解における僅かの差には意味のない場合もあることを表している。

最後にAICの最も小さいものを採用する。ここに述べてきた計算方法によると、パソコンPC-9801 VXでの計算時間は、 $n=5$, $N=100$ のデータについていえば平均して2~3分であった。

5. 気象への応用

ファジィ測度による多変量解析を、食品の売行き、スーパーマーケット・ファミリーレストランの客足など人間活動に対する気象の影響の解析および地上気温と500mb高度偏差の関係の解析に応用して重回帰分析より優れたモデルがえられた。

5.1 日配食料品の売行き季節変化

食料品売行きの季節変化は気候が人間の嗜好に与える影響を反映しているが、供給が季節に左右される食料品であると関係が複雑になるので、その点余り心配のない日配食料品と呼ばれるものを取り上げた。売行きはお客1,000人当りの売上個数で表すことにする。関東地方のあるスーパーマーケットで1日当たり売行き50個以上の日配食料品は8品目であった(第1表)。そのおのおのについて、1年間の毎日の売行きをベイズ-赤池法(赤池, 1989)により平滑化して季節変化とする。気象要素

第2表 うどんの売行き季節変化のファジィ測度.

g (T)	0.319
g (H)	0
g (S)	0.309
g (TH)	0.671
g (TS)	0.644
g (HS)	0.309
g (THS)	1

T : 温度, H : 湿度, S : 日射, TH, TS, ……等は T U H, T U S, ……等の略記.

については, 2, 3の試行結果が重要因子として気温・湿度・日射の3つを示していたので, 全品目について日最高気温・日平均湿度・全天日射日量を用い, 売行きと同様に平滑化して季節変化とした.

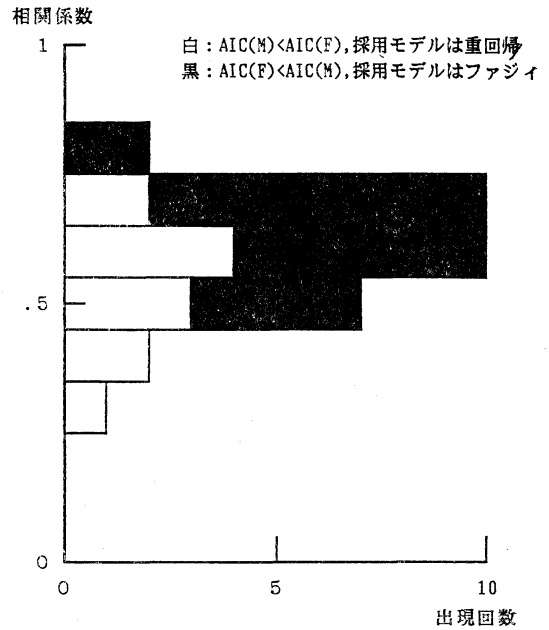
年当初の日配食料品売行きは正月の影響が残っているので1月15日までを除き, 残り350日間の季節変化を14日毎に平均し・年間25データについて, 売行きを3気象要素で説明するファジィモデルと重回帰モデルを前節の方法で計算した. その比較を第1表に相関係数と赤池情報量基準 AIC の差で示した. 明らかにファジィモデルの方が優れていることがわかる.

さらにファジィモデルはファジィ測度から気象の関わり方の構造がわかる利点がある. うどんの例でみると, 両モデル共湿度が上がると売行きが増えるという関係にあって一見奇異に思えるが, ファジィモデルでは第2表に示したように湿度単独のファジィ測度は零であって湿度が相対的に高くても売れ行きに寄与していないので, この不審さの大部分が解消される. さらに詳しくみると湿度は気温との和集合で影響因子となり, 日射との和集合では日射単独の場合とファジィ測度に差異がなく湿度は関係していない. 湿度は主因子の気温の作用を増幅させる働きのようなものと考えると分かりやすい. つまり気温の上下による売行きの変化(つまり人間の好みの変化)が湿度の存在のもとに増大するということである. そして気温が湿度より相対的に高い(ここでいう気温は説明変数として反転しているから実際の気温は低いときにあたり, 主として冬である)ときは, むしろ湿度のある方がうどんの売行きに都合がよいということである.

5.2 日配食料品の売行き日変化

第1表の日配食料品について毎日の売行きから前項の季節変化を差し引いたものを日変化とする. 1年を1

1991年6月



第2図 日配食料品8品目, 4季節の売行き日変化の相関係数の分布.

重回帰, ファジィのうち AIC の小さい方を採用してある. 重回帰が採用されたものは相関係数の小さい方に多い.

~3月, 4~6月, 7~9月, 10~12月の4季に分け, 気象要素は気温(日最高気温)・湿度(日平均湿度)・風速(日最大風速)・雲量(日平均雲量)・日照(日日照時間)・降水量(日降水量の2.8乗根)・日射(全天日射量)の7要素を考える. さらに, 店舗の統計資料にある単価を加えて8要素とし, この中の5以内の要素でモデルをつくり AIC 最小のモデルを採用する. 第2図に, 8品目・4季節の最適モデルによる相関係数の分布を示した. 図中黒く塗りつぶした部分はファジィモデルが採用されたものであって半数以上を占める. 重回帰モデルが採用されたものは相関係数がむしろ小さい場合に多く, もともと統計的意味の低いものといえよう.

モデルの相関係数は季節変化の場合と違って大体0.8くらいで頭打ちになっている. 日変化の分散には, 店舗の統計にない影響因子, 例えば競合店の売り出し・休店, 周辺地域の催し事など, によるものが含まれているから, その影響力の強弱によって, このモデルの相関係数は違ってくる. 気象に単価を加えた説明因子は最大で

第3表 来店客数(客足)のモデル比較とファジィ測度.

店 舗	相 関 係 数		AIC 差	ファジィ測度
	重 回 帰	ファジィ		
ファミリー レストラン N=30, n=4	0.654	0.748	-4.2	$g(T)=0, g(H)=0.133$ $g(V)=0.612, g(S)=0.353$ $g(TV)=0.736, \dots$ 以下略
スーパー マーケット N=42, n=3	0.602	0.653	-4.4	$g(T)=g(V)=0, g(R)=0.065$ $g(TV)=0.436, g(TR)=1$ $g(VR)=0.065, g(TVR)=1$

AIC 差は $AIC(F) - AIC(M)$, その負値はファジィモデルの方が優れていることを表す.
T: 温度, H: 湿度, V: 風速, S: 日照, R: 降水量, TV, TR, ……等は TUV, TUR, ……等の略記.

分散全体の約6割を説明しうるものといえよう.

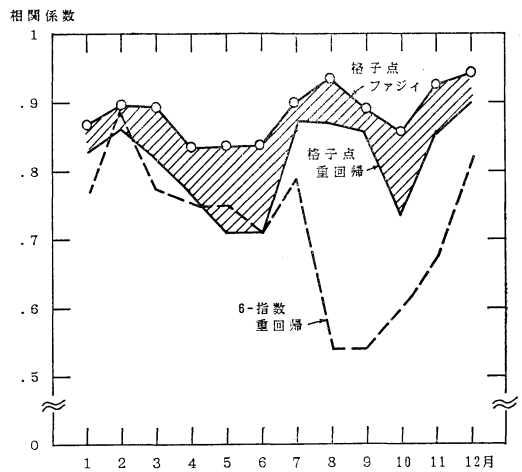
5.3 スーパーマーケット・ファミリーレストランの客足

スーパーマーケットやファミリーレストラン等に來るお客の数も気象条件に左右され、前項5.2とほとんど同様の結果がえられる。ここでは風の影響に注目して春の例について述べる。

あるファミリーレストランについて、毎日の實際来店したお客数から店舗の予測数を差し引いてそれを予測数で割ったものを目的変数とする。つまり予測の外れは気象条件によるものとする。前項5.2にあげた7つの気象要素から任意の数の任意の組合せをとりだして説明因子とし、ファジィモデル・重回帰モデルを計算してその中の AIC 最小のものを採用モデルとした。採用されたのは気温・湿度・風速・日照によるファジィモデルであった。ファジィモデルおよび同じ説明因子による重回帰モデルについて、相関係数と AIC の差およびファジィ測度の一部を第3表に示した。

ファジィ測度は15あるので全部示すのは省略したが、風速単独のファジィ測度は0.612であって風が弱いと客足が増すことを示し、気温単独のファジィ測度は零であって気温が高いだけでは客足に影響していない。しかし風速と気温の集合のファジィ測度は0.736と大きくなって、風が弱く暖かいと客足が大いに増すことを表している。

第3表には、あるスーパーマーケットの春のお客数について同様の解析をした結果も示してある。この場合は店舗側の予測数がえられなかったため、各曜日毎の年間トレンド(季節変化)を予測数に置き換えている。ただ



第3図 地上気温(前橋)と500mb高度偏差の相関係数.

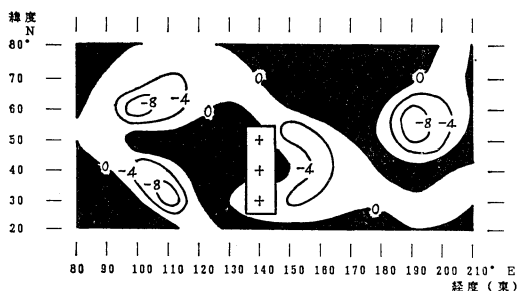
6-指数は、極東極うず指数、極東東西指数、極東中緯度高圧帯指数、極東亜熱帯指数、東方海上指数、西太平洋亜熱帯指数。
格子点は、第4表に示したもの。
斜線部は、ファジィ解析により相関係数の改善された部分を表す。

し客足の減る方向をプラス側とした。また採用された気象要素は気温・風速・降水量の3つであり、気温の下がる方、風の強い方、雨の多い方がプラス側である。第3表の解析結果に示したようにここでもファジィモデルの方が優れていることは明らかである。しかし相関係数の値は、ファミリーレストランの場合に比べ少し小さくなっている。これは気象以外の影響因子についての店舗の

第4表 地上気温(前橋)と500mb高度偏差の関係解析に採用された格子点とファジィ・重回帰のAIC差(=AIC(F)-AIC(M)).

月	採用格子点					AIC差
	°N °E	°N °E	°N °E	°N °E	°N °E	
1	50/140	40/140	30/140	40/110		-4.2
2	50/140		30/140	40/110	40/160	-5.5
3	50/140	40/140	30/140	40/120	40/160	-16.6
4	50/140	40/140	30/140	30/130	50/180	-7.5
5	60/140	40/140	30/160	40/120	20/160	-7.7
6	50/140	40/140		40/120	40/190	-17.3
7	50/140	40/140		30/130	50/180	-3.4
8	50/140	40/140	30/140	30/110	50/190	-6.7
9	50/140	40/140		50/130	30/160	-2.4
10	50/140	40/140	30/140	30/130	40/190	-9.7
11	50/140	40/140	30/140	50/130	50/150	-11.9
12	50/140	40/140	30/140		30/160	-13.9

AIC 差の負値はファジィモデルの方が優れていることを表す。



第4図 頭上以外の格子点の寄与度。

頭上3格子点(+印)に各格子点1点を加えたときのAIC減少量, 負の大きい値ほど寄与が大きい。黒く塗りつぶした正の領域は寄与がない。

ノウハウがファミリーレストランの予測数には含まれるのに対しこの場合はそれが無いことによるものであろう。

ファジィ測度からみると, 気温・風速・降水量いずれも単独に大きいだけではほとんど影響していない。気温に降水量が結び付く, すなわち寒くて雨が降ると最大に(ファジィ測度=1)影響する。寒くて風が吹いてもかなり(気温と風速の集合のファジィ測度=0.436)影響する。

5.4 月平均地上気温と500mb高度偏差の関係
月平均地上気温が500mb高度偏差と密接な関係にあ

1991年6月

ることはよく知られていて, いろいろな500mb高度偏差の指数が関係の表現に使われているが, それらの指数を使った重回帰モデルではあまりよい結果はえられていない(第3図破線)。ここでは500mb高度偏差の格子点値に立ち戻って, 最大5つの格子点の値で月平均地上気温を説明するモデルを考えることにする。月平均地上気温としては1例として前橋のものを使い, 1951年から1987年まで37年間について各月毎に解析する。格子点は20°Nから80°Nまでおよび80°Eから210°Eまでの10°ごと98点から5点以内を選ぶが, 任意の組合せ全てについて解析するのは大変な仕事量となるので, まず140°E線上の50°, 40°, 30°Nの3点のみ, およびこの3点と他の格子点1点との組合せ4点による95例, 合わせて96例について重回帰およびファジィ解析してそれぞれについてAICの小さい方を取り上げる。4点解析のAICから頭上3点による解析のAICを差し引いたAIC差の分布を8月について示すと第4図のようになる。図からわかるように頭上3格子点に60°N/100°Eまたは30°N/110°E, あるいは50°N/190°Eの格子点を加えるとAICの小さいよいモデルがえられる。このうち前者の2点是对称的に存在し同じ効果をもたらすものと考えられるのでどちらかAIC差の小さい方1点(この場合30°N/110°E)を採用する。このようにして, 原則的には頭上3点の他東西で各1点ずつ計5点を対象と

する。なお第4図中黒く塗りつぶしてある部分はAIC差が正であって、その格子点を加える意味のないことを表す。

次いでこの5点から任意の数の任意の組合せを取り出して、その全てについて重回帰およびファジィ解析する。そのなかのAIC最小のものをモデルとして採用した。5月だけは例外として、 $50^{\circ}\text{N}/140^{\circ}\text{E}$ 、 $30^{\circ}\text{N}/140^{\circ}\text{E}$ の代わりに $60^{\circ}\text{N}/140^{\circ}\text{E}$ 、 $30^{\circ}\text{N}/160^{\circ}\text{E}$ を採用した。AIC最小で採用したものは全てファジィモデルであって、ここでもファジィ解析の優れていることが示された(第4表)。各月のファジィモデルによる相関係数と、同じ格子点による重回帰モデルの相関係数は、6指数による重回帰モデルの相関係数とともに第3図に示してある。図中斜線部はファジィ解析によって相関係数の改善された部分である。

採用されたファジィモデルでは相関係数が最小でも0.85、平均で0.9程度となり月平均地上気温は500mb高度偏差により、かなりよく説明されるといえる。

6. おわりに

ファジィ測度を用いる多変量解析の手法は幾つかの事例に適用して有効性が実証された。一般に、線形回帰

より一歩進んだ近似法として応用することができよう。結果的に線形回帰で十分であるということももちろんある。真実の関係が線形であったり、関係が希薄で相関が悪くデータ数が十分でないという場合などがその例であるが、この方法は線形回帰を特別の場合として含み、かつ最終的には赤池情報量基準AICによりモデル選択をするのであるから、線形回帰分析をしようとするときはそれに代えてこの方法を試してみる価値があると思われる。

なお規格化については、説明変数の与えられた数値を線形で使うよりもっと適当な変数への変換が見いだせるならそれを使うことによってさらによりモデルがえられるであろう。

文 献

- 赤池弘次, 1989: 事前分布の選択とその応用, ベイズ統計学とその応用, 鈴木雪夫・国友直人編, 東京大学出版会, 81-98.
菅野道夫, 1987: ファジィシステム入門, オーム社, 131-138.
菅野道夫, 1988: ファジィネスの理論—二つのファジィネスをめぐる—, 日本物理学会誌, 43, 834-840.



研究会「流体中の非線形波動の数理的側面」講演募集

平成3年度の京都大学数理解析研究所の共同利用研究計画の一つとして、標記の研究集会在開かれます。

この集会は、流体力学、応用数学、気象学、海洋学、土木工学、物理学などの異なる分野で「流体中の非線形波動」に関心を持つ研究者に議論の場を提供し、今後の研究の発展の方向を探っていくことを目的とするものです。

次の要領で講演を募集いたしますので、ふるって御応募下さい。

開催日: 1991年11月18日(月)~20日(水)

会 場: 京都大学数理解析研究所

講演申込み締切: 1991年9月30日(月)

申込み要領: A4版用紙に、1) 題目、2) 講演者氏

名、3) 所属、4) 職名あるいは学年、5) 連絡先(電話番号も)、6) 要旨(100字程度)、7) 旅費希望の有無(御希望に沿えない場合もあります)、を御記入の上お申込み下さい。

申込み先: ☎816 福岡県春日市春日公園6-1

九州大学大学院総合理工学研究科大気海洋

環境システム学専攻 久保川 厚

電話 092 (573) 9611 内線372

FAX 092 (592) 8447

又は九州大学応用力学研究所 及川正行

電話 092 (573) 9611 内線582

FAX 092 (582) 4201