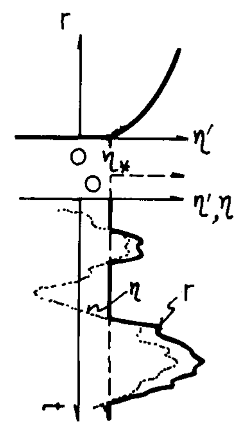
II-81　多地点日雨量時系列に関する新しいモデルの提案とそのシミュレーション

近畿大学理工学部　正　員　江藤　剛治
大阪大学　工学部　正　員　室田　　明

1. はじめに：　数時間～数日単位の降水量時系列は‘間歇的’かつ‘持続的’時系列であり，その特性を無理無く一般的に解析することは難かしい。たとえば既往の主たる研究成果は次のように大別できる。

i）時系列的に完全な独立性を仮定した研究（筆者らの研究を含めて多数），　ii）無降水部分と降水部分にわけて，それぞれの特性を個別に解析したもの（石原・池淵，室田・端野，端野他），　iii）やや特殊な取り扱いであるが，蒸発散量を負の降水として導入し，無降水部分・降水部分を1つの連続分布におきかえた角屋らの研究。しかしながらこれらはいずれも便宜的あるいは大胆な近似的解析手法であるという感は否めないし，特に多地点降水量時系列に対する時空間的確率構造の解析に対しては必ずしも十分な適用性を有するとは言い難い。これに対し江藤[1]は，降水量時系列に対するより深い理解のためには降水発生の物理的メカニズムを注意深く考慮した降水量時系列モデルの設定が不可欠であることを指摘し，このような観点から次のような時系列モデルを提出した。　i）降水量時系列に比して，よりゆるやかかつ連続的に変動する潜在的変動成分$\eta(t)$が存在する。　ii）ηがある限界値η_*を超えると降水事象が発生する。すなわち$\eta>\eta_*$のとき降水（$r>0$），$\eta\leqq\eta_*$のとき無降水（$r=0$），ここにr：降水量。　iii）降水条件（$\eta>\eta_*$）に対して，新たな乱れ成分ε_ηが付加される。　iv）降水量rは（$\eta'=\eta+\varepsilon_\eta$）を適当に非線形変換$r$（$\eta'$）して得られる。以上の関係を図－1に示す。一方このようなモデルは概念的にはいくらでも複雑にすることができるから、より精密なモデルを構築しうる。このモデルの精密さの限界は次のような制約により決められよう。

i）資料の質（資料数，観測精度など），　ii）解析の実用性。すなわちいくら精巧なモデルを作っても，データの質に比してパラメーター数が多すぎたり，数学的な表現が困難であったりして，試行錯誤的に信頼度の低いパラメーター同定をせざるを得ないようなモデルは実用的見地から意味がない。できれば重要度の高い順に必要な各パラメーターの値が1つづつ一意的に決定できるようなモデルであることが望ましい。本報告ではこのような観点から前述のモデル[1]の実用性の検討を行ったものである。



図－1　降水量時系列とη

2. 理論：　全般的な理論は文献1）に述べてあるのでここでは実際のパラメーター同定，モデルと同定されたパラメーターの値の検証のためのシミュレーションなどに必要な補足的な理論について触れておく。

2. 1　ηの時空間相関構造の推定：　実際に観測される降水量資料は，ηとε_ηの双方の影響を受けているから，これから潜在変動ηのみの相関構造を抽出するには工夫を要する。いま降水量には無関係に，降水事象か無降水事象かにのみ着目することにすれば，このような付加乱れε_ηや，（$\eta+\varepsilon_\eta$）の非線形変換の影響は除去できる。このときの問題は$r=0$，$r\neq0$という2つのカテゴリーの属性相関を推定する問題となる。属性相関の推定に関しては種々提案されているが，本報告ではテトラコリック相関係数を採用した。これはPearsonによる潜在的2変数正規分布を仮定した一連の属性相関推定理論のもっとも単純な2カテゴリーの場合の解である。このように属性相関の推定に潜在的連続分布を仮定することの是非については，歴史的にもPearson vs Yuleによる激論があったようであるが，現在ではPearson流の潜在2変数正規仮定は妥当でないとされ，今日ではこの種の一連の手法が用いられることはほとんどないようである。[2]。
本報告であえてこの理論を用いた理由は以下のとおりである。i）降水量時系列は1つの変数が$r=0$，$r\neq0$という属性統計的性質と，$r>0$なる条件付での連続量としての性質を同時に有するから，両者の性質を

同じ尺度で測れる理論でなければ現象の統一的解析に不都合である。　ii）多地点降水量時系列解析とそのシミュレーションによる再現に適用可能な理論は，現在のところ多数正規分布理論のみである。　iii）後述のごとく実際の資料解析より計算されたテトラコリック相関係数 r_T は，2カテゴリー属性関連分析に通常用いられるユールの関連係数Qとほとんど完全に1対1に対応する。

2．2　付加乱れ ε_η の分散推定：　本来 ε_η は η の強度と強い相関があると考えられる。この成分を次の2成分にわけて考える。　$\varepsilon_\eta = a\eta + \varepsilon'_\eta$　右辺第1項は η の値により定まる成分であり，ε'_η は η，$a\eta$ に独立な成分である。前項の相関構造の推定において η のかわりに η に比例する成分を用いると考えても，得られる相関係数は変化しないから，今後（$1+a$）η を η と考えるとし，これに独立な変動成分 ε'_η を ε_η と書く。このとき降水量時系列はつぎのように表現される。‘降水条件付降水量時系列は潜在的変動により一意的に決まる変動成分 η と，これに独立な成分 ε_η により構成される。’このように一般に降水条件では η に ε_η が加わるので，潜在的に2変数正規分布を仮定して補正した降水条件付相関係数（$\eta > \eta_*$ なる上位標本により推定された相関係数）r_r は，テトラコリック相関係数 r_T より小となるはずである。ε_η の平均値を‘0’とすればその分散はこの r_T と r_r の差異より計算できる。すなわち若干の考察と計算ののち次式のように求められることがわかる。

$$\sigma_\varepsilon / \sigma_\eta = \sqrt{r_T / r_r - 1}$$

ここに σ_ε，σ_η はそれぞれ ε，η の標準偏差。

2．3　η のシミュレーションのための係数推定：　Matalas 型のモデルを用いた。その他必要な諸理論は文献1）に詳しい。

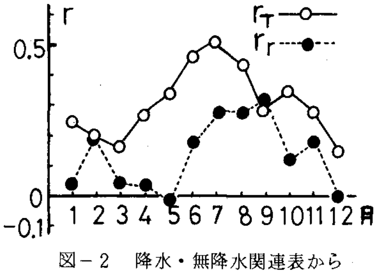
3．解析例：　計算対象として近畿圏の3測候所（豊岡・尾鷲・大阪）の日降水量資料を用いた。また降水量時系列は各月内においては定常と仮定した。

大阪の各月の日降水量に対して r_T，r_r を図示したものが図－2である。またユールの関連係数Qと r_T の関係をプロットしたものが図－3である。これらの図より次のようなことがわかる。　i）Qと r_T はほぼ1対1に対応する。　ii）r_T はこれまで常識とされていた自己相関係数値よりかなり大きな値となっている。　iii）予想どおり各月とも $r_T > r_r$ がほぼ満たされている。また上記の解析結果にもとずく多地点日降水量シミュレーション結果の例を表－1に示す。この表より，日降水量の間歇性，時空間相関構造，分布特性等すべてよく再現されていることがわかる。

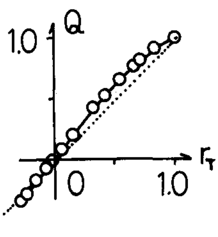
4．結論および謝辞：　筆者の一人の提案した日降水量時系列の時空間構造に関するモデルの，実測降水量資料による検証を行った。これにより本モデルは間歇性・持続性をともなう多地点降水量時系列解析および模擬発生に対して非常に有効かつ実用的であることが確かめられた。

本研究は科学研究費（代表者：日野幹雄東工大教授）の補助および長谷川善信氏（当時大阪大学学生）の協力のもとに行なわれた。記して謝意を表する。

〔参考文献〕 1）江藤：物理的な発生機構を考慮した降水量時系列に関する研究，第19回水講論文集
2）安田三郎：社会統計学



図－2　降水・無降水関連表から求めた時系列相関 r_T と降水条件より求めた r_r



図－3　r_T とQの関係

表－1－1
実測値とシミュレーション値の比較（大阪）

単位：mm

		Obs.	Sim.
p		0.60	0.62
μ		5.6	6.7
	$r>0$	9.2	10.9
σ		13.4	16.6
	$r>0$	16.3	20.0

表－1－2　空間的相関

実測 r_T

	大阪	尾鷲	豊岡
大阪	1.00	0.70	0.70
尾鷲	0.70	1.00	0.39
豊岡	0.70	0.39	1.00

シミュレーション r_T

	大阪	尾鷲	豊岡
大阪	1.00	0.70	0.75
尾鷲	0.70	1.00	0.48
豊岡	0.75	0.48	1.00