

博多湾における気象現象の確率的シミュレーション

山口大学 正会員○奥田英明
山口大学 正会員 Rezaul Karim
山口大学 正会員 関根雅彦
山口大学 正会員 浮田正夫

1. 研究目的

閉鎖性海域である博多湾では、夏期に温度躍層が形成されて上層と下層との水循環が弱まり、底層に堆積した有機物の微生物による分解に大量の酸素が消費される結果、底層水が貧酸素の状態となって停滞性の貧酸素水塊を形成し、底層付近の生態系に大きな被害をもたらしている。さらに、底層部で発生した貧酸素水塊は、風の力による湧昇流の発生によって底層から表層に運ばれ、表層の生態系にまで影響を及ぼすことが予想される。我々の研究室ではこの水域における貧酸素水塊の発生確率を潮流・水質シミュレーションモデルで評価することを試みている。そのためには、上述の風を中心に降水量、雲量、湿度、気圧、気温などの気象現象の長期間にわたるデータが必要となる。本研究の目的は福岡管区気象台で観測された 30 年間の気象データをもとに、風向、風速、降水量、雲量、湿度、気圧、気温などの気象データを確率的に求める手法を開発することである。

2. モデルの概要

本研究では、初めに降水量を他の要素と独立して求め、求める日の状態を降雨日であるか無降雨日であるかで場合分けして、雲量、湿度、気圧、気温、風ベクトルの x 成分、 y 成分をそれぞれの要素間の相関関係を考慮することによってシミュレートするモデルを採用した。

3. 降雨発生モデルについて

降水量は前日の降雨状態を考慮してその日の降雨状態を決定するマルコフ連鎖モデルを適用した Hann¹⁾の方法を用いてシミュレーションを行った。

3.1. 計算方法

- 1)それぞれの降水量を表 1 のように 7 つの集合に分ける。
- 2)降雨集合 i の翌日が降雨集合 j となる確率 p_{ij} を観測値から月ごとに求める。
- 3) p_{ij} の累積確率密度関数を作成し、0~1 の一様乱数を発生させて降雨を定めた場合の翌日の降雨集合を定める。
- 4)一様乱数 R を発生させて、以下の式を用いて降水量 x を求める。

集合 1~5 の場合（ここで a, b は集合の境界値である。 $a < b$ ）

$$x = a + R(b - a) \quad 0\text{mm} \leq x < 31.5\text{mm} \quad (1)$$

集合 6 の場合

$$x = 31.5 - \lambda \log(1 - R) \quad x \geq 31.5\text{mm} \quad (2)$$

$$\lambda = \bar{x} - 31.5 \quad (\bar{x} \text{ は } 31.5\text{mm} \text{ 以上の降水量の平均})$$

3.2. 結果および考察

100 年間の降水量を発生させるシミュレーションを 5 回行い、得られた結果の平均と観測値との年平均降水量、日々の降水量分布を比較した。ただし、最も降水量の多い 7 月については精度向上のため降雨集合[31.5,63.5)を付け加える必要があった。その結果を図 1 と図 2、図 3 に示す。年平均降水量に関しては、結果と観測値とはよく一致しているが、日々の降水量分布においては観測

表 1 降水量の集合分け

降雨集合	範囲 (mm)
0	[0, 0.5)
1	[0.5, 1.5)
2	[1.5, 3.5)
3	[3.5, 7.5)
4	[7.5, 15.5)
5	[15.5, 31.5)
6	[31.5, ∞)

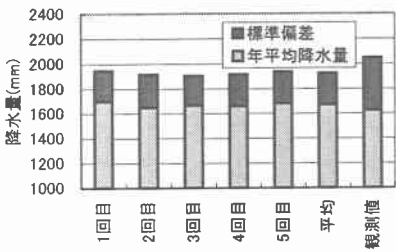


図 1 年平均降水量

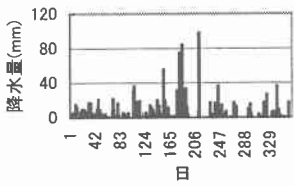


図 2 1969 年の観測データ

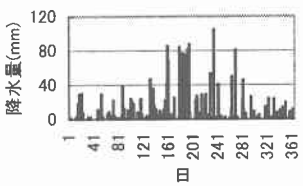


図 3 ある 1 年間の計算結果

値よりも計算結果の方が大きくなる傾向が見られた。このような傾向は、降雨集合が 1 から 5 の場合に式(1)を用いた場合、分布式は線形であるが実際の分布は指数的な形をしているために生じたものと考えられる。

4. その他の気象発生モデルについて

その他の 6 つの気象要素は Richardson²⁾の方法によってシミュレートすることにした。

4.1. 計算方法

1) 降雨日と無降雨日のそれぞれの要素の値から日々の平均と標準偏差を除いたもの（以後、残差と呼ぶ）を求める。この残差は雨の有無の区別、季節変化の性質を含まない値である。

2) Matalas³⁾が提案した式(3)を用いて残差の連続値を発生させる。

$$x_{p,i} = Ax_{p,i-1} + B\epsilon_{p,i} \quad (3)$$

ここで、 $x_{p,i}$ は p 年 i 日の 6 つの要素の残差からなる(6×1)行列、A と B は各々の要素残差間のラグ 0 と 1 の相関係数からなる(6×6)行列、 $\epsilon_{p,i}$ は平均値 0、分散 1 の正規乱数からなる(6×1)行列である。

3) 得られた残差に平均と標準偏差を加えて日々の値を求める。

4.2. 結果および考察

6 つの要素の値を 5 回発生させ、年間を通して求めた日平均値の観測値との比較を行ったところ、どの要素に関しても計算結果と観測値とはほぼ一致する結果となった。一方、標準偏差については計算結果の方が若干小さく特に気温と湿度において観測値との差が大きい。気温と雲量についての日平均とその標準偏差を図 4 と図 5 に示す。このように標準偏差に差が生じた原因は、気温の残差において年ごとの変動が現れたためであると考えられる。たとえば、図 6 と図 7 に示した気温残差は、その年が平年よりも気温の高い夏、平年よりも気温の低い夏であることを示している。気温残差にこのような変動が現れることは、年ごとに気温の変化傾向が異なることを表している。また、湿度に関しては気温と相関が他の要素との相関と比べて著しく高いために、気温ほどではないが標準偏差が小さくなったものと考えられる。以上のことから、それぞれの気象要素を再現よくシミュレートするためには、暖冬や冷夏のような年ごとの変動を考慮に入れたモデルを確立しなければならない。

5. 結論

降雨発生モデルに関しては観測値をほぼ適切に再現できる結果が得られた。その他の気象発生モデルに関しては、雲量、風、気圧は観測値とよく一致したが、湿度、気温は観測値よりも分布の範囲が狭くなるため、年ごとの変化を考慮していくつかの状態に場合分けし、そのときのパラメータを求めてシミュレートする必要がある。

参考文献

- 1) C.T.HAAN, D.M.ALLEN, and J.O.STREET : A Markov Chain Model of Daily Rainfall, *WATER RESOURCES RESEARCH*, VOL.12, NO.3, 443-449, JUNE 1976
- 2) C.W.RICHARDSON : Stochastic Simulation of Daily Precipitation, Temperature, and Solar Radiation, *WATER RESOURCES RESEARCH*, VOL.17, NO.1, 182-190, FEBRUARY 1981
- 3) N.C.MATALAS : Mathematical Assessment of Synthetic Hydrology, *WATER RESOURCES RESEARCH*, VOL.3, NO.4, 937-945, 1967

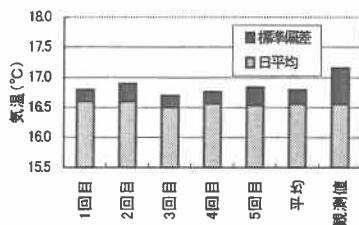


図 4 気温の日平均

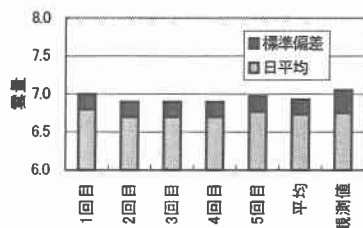


図 5 雲量の日平均

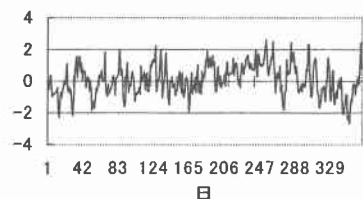


図 6 1985 年の気温残差

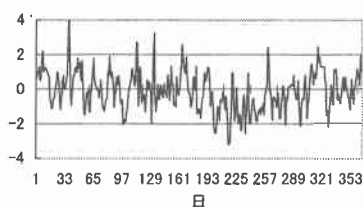


図 7 1993 年の気温残差