

水質シミュレーションにおける気象条件の確率論的考察

九州大学大学院 学生員 ○横寺 宏 熊谷博史
九州大学工学部 フェロー 楠田哲也

1. はじめに

水質が生態系に及ぼす影響を予測するときは、モデルを基にしたシミュレーションがよく用いられる。その際、外部境界条件として与えられる気象条件は水質変動に多大な影響を及ぼすが、一定値もしくは緩やかに変化する値として定められているのが現状である。

本研究ではマルコフ過程を用いた確率論的な解析手法により、気象条件をより実際に即した値としてシミュレーションに入力する方法について考察する。

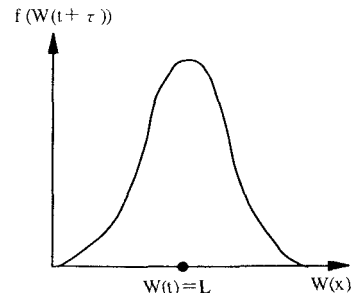
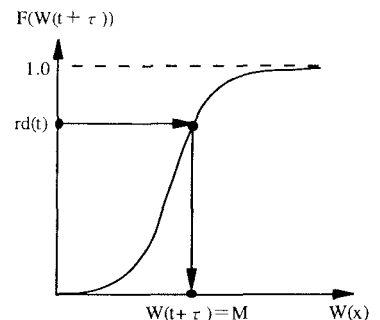
2. 基本概念

水質変動に影響を及ぼす気象項目として、風、雲量、降水量、気温等があげられる。これらは基本的に前の時刻の状況が次の時刻にも影響を与えるマルコフ連鎖特性を有している。また、日周期、年周期に代表される時間特性、他の気象条件との相互相関特性も併せ持つ。しかし、三つの特性は平均レベルで有為であるが、1時間単位のタイムスケールでは不確実性が大きく、統計的解析による気象条件の算出では実際の現象を精度よく再現することは出来ない。そこで本研究では、時点 t の状態から時点 $t + \tau$ の状態へ推移する確率をそれぞれ求めることが可能であるマルコフ過程を用い、気象を幅広く確率論的に算出する方法について検討した。

τ 時間単位で観測されている気象項目 $W(x)$ 、($x = 1, N$)を考える。ここに x は時刻を表しており、 $W(x)$ は時刻 x における気象項目の数値である。ある任意の時刻 $x = t$ において、 $W(t) = L$ の時、 $W(t + \tau)$ がとり得る値の幅とその確率密度 $f(x)$ が図-1として得られたとき、その分布関数 $F(x)$ は図-2のようになる。ここで、 $[0, 1]$ 区間で一様乱数 $rd(t)$ を発生させ、 $F(w(t + \tau)) = rd(t)$ となる $M = W(t + \tau)$ が、即ち時刻 $t + \tau$ での値となる。次に、 $w(t + \tau) = M$ の時の確率密度を使い、一様乱数 $rd(t + \tau)$ とその時の分布関数を比較することで $w(t + 2\tau)$ 値を決定し、以下同様にして連続的に $w(x)$ を算出する。ここで示した例は、単純マルコフ過程を仮定して $W(x)$ を計算しているが、風速や気温のように日周期の存在する気象条件は、時間特性を考慮する必要があり、また気温、降水量は雲量との相関性があるため、相互相関性を考慮する。時間特性は日周期性を再現するために、1時から24時までの1時間ごとに確率密度を考慮することになる。風速を例にとると、時刻 t の風速が3m/sであったときの $t + 1$ 時の風速を計算するためには、実測データから t 時でかつ風速が3m/sの状況を拾い確率密度分布を作成する。これが t 時で3m/sであったときの $t + 1$ 時の風速を計算するために用いられる確率密度となる。従って風速を連続的に算出するためには全ての時刻(1時～24時)において全ての風速(ここでは0～15m/s)の件数を拾い、確率密度分布を作成する必要がある。このとき確率密度分布の総数は $24 \times 16 = 384$ である。相互相関性に関しては時刻の代わりに別の気象量を考えることになる。降水量を例にとると、時刻 t の降水量が1mmで時刻 $t + 1$ での雲量が5であったときの時刻 $t + 1$ の降水量を計算するためには、実測データから前の時刻の降水量が1mmでかつ現時刻の雲量が5の状況を拾い確率密度を作成する。従って降水量を連続的に計算するためには全ての雲量(0～10)において全ての降水量(ここでは0～40mm)の件数を拾い、確率密度分布を作成する必要がある。このとき確率密度分布の総数は $11 \times 41 = 451$ である。

3. 各気象条件の解析方針

本研究で取り扱う気象条件は雲量、風速、風向、降水量、気温の5項目である。解析に用いる実測値は福岡市中央区で観測されたSDPデータおよびアメダスデータである。各気象項目の算出方法を以下に示す。

図-1 $W(t + \tau)$ の確率密度分布図-2 $W(t + \tau)$ の分布関数

・風速・・・福岡では年間を通して12時から18時には北西風（博多湾からの海風）が、22時から翌日9時には南風（博多湾への陸風）が卓越する。この日周期を再現するために風速は単純マルコフ過程と時刻の2項目を基に算出する。そのために実測データから1時～24時の1時間ごとにマルコフ過程を引用して、前の時刻の風速の頻度分布をつくり風速算出の確率密度とする。なお、福岡において風速は10m/s以上の件数が若干のため、計算可能上限を15m/sとし、1.0m/s区切りの離散変数とする。

・風向・・・風向は北北東を1、北を16とした時計回りの16方位で表される（風速が0の時は風向は0）。風向も陸風、海風による日周期特性を持つため、風速同様単純マルコフ過程と時刻の2項目を基に算出する。

・雲量・・・福岡での雲量に関しては年周期特性、日周期特性が存在しない斉時的マルコフ連鎖特性の気象条件である。そのため時刻には依存しないが、急速な減衰を示す自己相関特性のため予測のリードタイムは厳しく制限される。そこで予測の不確実性を減らすために、2重マルコフ過程を用いて算出する。

・降水量・・・福岡では梅雨期（6月～7月）、台風期（8月～9月）に多量の雨が降り、冬から春にかけては少雨期となる。降水量はこの年間特性を考慮した上で、単純マルコフ過程と雲量の2項目を基に算出する。

・気温・・・太陽放射に支配される気温は、地球の公転と自転のため他の気象量と比較して明確な時間特性を有している。年周期はsineカーブで近似できるので、日周期に代表される偏差分を計算する。他の気象量との相関関係においては雲量との結びつきが強いため、単純マルコフ過程、時刻、雲量の3項目を基に算出する。

以上から5つの気象項目に関して、1年を通して1時間ごと（雲量は3時間ごと）で算出することができる。その際、ケーススタディを実行可能なものとするため、年平均もしくは月平均レベルにおいて気象の平均値を計算者が規定し、その値を満足するように発生させる方針をとる。本研究では計算者が規定する値として、年降水量、年平均気温、月平均雲量、月平均風速をとり挙げる。これより10年に一度の渇水年度や20年に一度の暖冬、もしくは100年に一度の大雨のような仮想パターン年を生起し、一樣乱数を変化させることで境界条件を何通りも作り出すことが可能となる。

4. 計算結果と考察

計算に使用する確率密度分布を作成した実測値と計算値を比較するために、各々の気象項目において自己相関係数、頻度分布、時間平均（但し雲量と降水量は斉時的であるとして計算しているので省略）の3項目で出力結果の妥当性を調べる。その一例として気温の解析結果をそれぞれ図-3、4、5に示す。また、この3項目における実測値と計算値との相関係数は表-1として得られた。ここに自己相関係数は各々の気象項目においてタイムラグを10時間まで計算したものを示しており、頻度分布に関しては、風速は0～15m/s、風向は0～16、雲量は0～10、降水量は0～40mm、気温は-3～35℃でそれぞれ度数をとったものを比較しており、時間平均は1時から24時までの各時刻の平均値を表している。この表から分かるように、いずれの気象項目とも実測値と計算値の自己相関係数、頻度分布、時間平均の相関は高く、再現性は良好であると言える。

気象条件はマルコフ連鎖特性、時間特性、相互相関特性に加え場所ごとに性質の異なる地域特性が存在する。ここでは福岡の観測データで解析を行っているが、解析実行に当たってはその地域の気象特性をあらかじめ認識し、適当な方法を採用することが望ましい。

表-1 実測値と計算値の相関係数

	風速	風向	雲量	降水量	気温
自己相関係数	0.995	0.985	0.998	0.991	0.997
頻度分布	0.999	0.975	0.999	0.992	0.956
時間平均	0.996	0.979			0.997

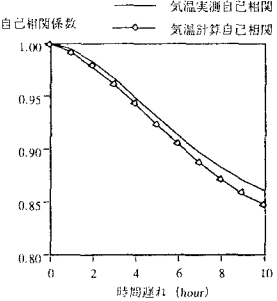


図-3 気温自己相関係数

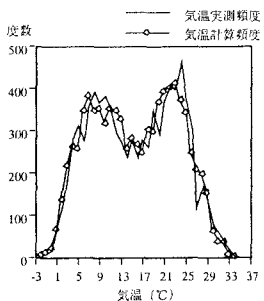


図-4 気温頻度分布

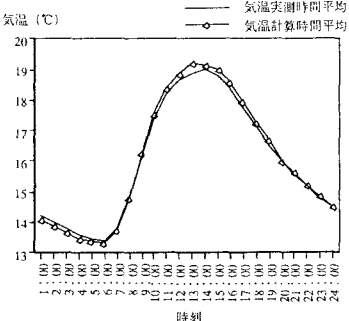


図-5 気温時間平均