

濁度上昇予報ツール オフライン版

モデル解説書

公益財団法人 水道技術研究センター

このモデル解説書では、濁度上昇予報ツールで使用しているパラメータの意味と設定方法の留意点について、例題を使用して説明します。同時に例題用に添付してあるファイルについても、簡単に説明します。

1. モデル概要

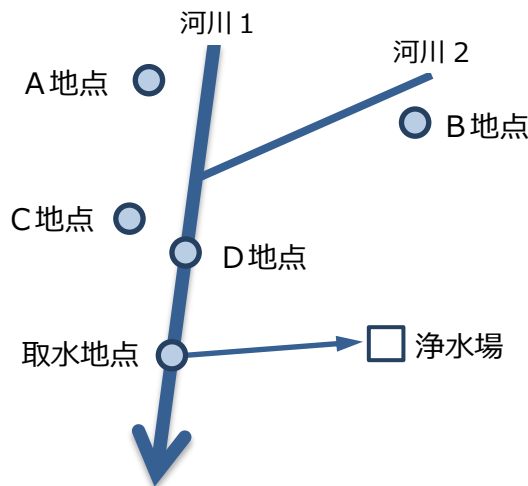


図 1 取水地点と雨量／水位観測地点との位置関係

例題用モデルとして、今、図 1 のような位置関係を考えます。青い矢印が河川とその流れる方向を示しています。雨量は A 地点、B 地点、C 地点の 3 箇所で、河川水位は D 地点 1 箇所で観測しているものとします。また、降雨を観測してから濁度が上昇するまでに要するおよその到達時間は表 1 に示すとおりとします。

表 1 到達時間

場所	到達時間 (h)
A→D	3
B→D	4
C→D	1
D→取水地点	2
取水地点→浄水場	2

model_data.csv という名称のファイルに、図 1 のモデルを作成するための実績データの例を準備しました。この例題用データには、表 2 と表 3 に示すように、降雨に起因する濁度上昇イベントが、5 年間 100 回分入っています。また、この例題用データを基にしてモデル化を行い、その後、実際にこのモデルによる濁度上昇予報のシミュレーションで試用する際の事例データは、表 4 のように、3 か月間に 6 回の降雨が生じているデータ (predict_data.csv) を準備しました※。この二つのデータは、どちらも 1 時間単位のデータを想定しています。

さらに、これまでの研究の知見として、降雨や水位、濁度の関係を数値化しています。御参考までに、この結果も、表 5 に反映させています。

※ 濁度上昇予報のシミュレーションを行うときに使用する事例のデータは、エクセルへの自動読み込みが行えませんので、手動で「4 データ取得②」のシートに入力あるいはコピーして御使用ください。

表 2 モデルの基となる過去データ (その 1)

(5 年間 100 回分の濁度上昇時の降雨, 水位, 発生日等についてまとめたもの)

ID	降雨内容	降雨地点	最大時間雨量 (mm/h)	最大積算雨量 (mm)	水位最高値 (m)	取水濁度 ピーク値(度)	年月日
1	弱い雨		2	2	0.2	5	2011/1/5
2	長時間弱い雨		3	16	0.5	10	2011/1/23
3	やや強い雨	ABC	10	32	0.7	30	2011/2/10
4	強い雨	ABC	28	37	1.1	80	2011/2/28
5	弱い雨		4	7	0.4	10	2011/3/18
6	弱い雨		1	2	0.2	5	2011/4/5
7	やや強い雨	ABC	11	35	0.9	50	2011/4/23
8	弱い雨		5	6	0.25	5	2011/5/11
9	弱い雨		6	11	0.4	20	2011/5/29
10	やや強い雨	A	19	32	0.5	90	2011/6/16
11	台風	ABC	32	89	1.5	120	2011/7/4
12	局地的大雨	A	32	32	1.1	60	2011/7/22
13	やや強い雨	B	12	26	0.5	40	2011/8/9
14	局地的大雨	B	42	65	0.6	130	2011/8/27
15	台風	ABC	25	102	1.8	200	2011/9/14
16	強い雨	C	22	28	0.5	80	2011/10/2
17	長時間弱い雨		7	39	0.6	20	2011/10/20
18	やや強い雨	ABC	15	71	1.1	50	2011/11/7
19	弱い雨		9	16	0.6	15	2011/11/25
20	弱い雨		3	7	0.4	5	2011/12/13
21	弱い雨		5	8	0.5	10	2011/12/31
22	弱い雨		2	4	0.3	5	2012/1/18
23	弱い雨		7	11	0.5	10	2012/2/5
24	長時間弱い雨		8	20	0.6	20	2012/2/23
25	弱い雨		4	7	0.4	5	2012/3/12
26	弱い雨		6	13	0.6	10	2012/3/30
27	やや強い雨	ABC	18	58	1.2	60	2012/4/17
28	弱い雨		5	8	0.4	5	2012/5/5
29	局地的大雨	C	30	50	0.6	200	2012/5/23
30	強い雨	AB	21	34	0.5	40	2012/6/10
31	台風	ABC	40	126	2.1	300	2012/6/28
32	やや強い雨	ABC	18	58	1.3	120	2012/7/16
33	強い雨	A	21	29	0.6	60	2012/8/3
34	局地的大雨	AB	45	61	1.2	150	2012/8/21
35	弱い雨		8	18	0.6	20	2012/9/8
36	局地的大雨	C	31	49	0.7	120	2012/9/26
37	長時間弱い雨		8	35	0.6	30	2012/10/14
38	弱い雨		8	14	0.3	10	2012/11/1
39	弱い雨		9	17	0.5	15	2012/11/19
40	弱い雨		3	5	0.2	5	2012/12/7
41	長時間弱い雨		4	17	0.3	5	2012/12/25
42	弱い雨		5	9	0.3	5	2013/1/12
43	弱い雨		6	9	0.3	5	2013/1/30
44	弱い雨		6	15	0.35	10	2013/2/17
45	やや強い雨	ABC	18	63	1.3	140	2013/3/7
46	弱い雨		8	13	0.4	20	2013/3/25
47	やや強い雨	B	10	43	0.6	50	2013/4/12
48	長時間弱い雨		3	14	0.35	5	2013/4/30
49	長時間弱い雨		8	37	0.9	30	2013/5/18
50	強い雨	B	25	49	1.2	180	2013/6/5

表 3 モデルの基となる過去データ (その 2)

ID	降雨内容	降雨地点	最大時間雨量 (mm/h)	最大積算雨量 (mm)	水位最高値 (m)	取水濁度 ピーク値(度)	年月日
51	やや強い雨	ABC	15	69	1.2	60	2013/6/23
52	局地的大雨	ABC	61	134	1.8	400	2013/7/11
53	局地的大雨	A	35	48	0.9	80	2013/7/29
54	台風	ABC	45	131	2.5	500	2013/8/16
55	やや強い雨	ABC	18	68	1.8	90	2013/9/3
56	強い雨	C	21	34	0.7	80	2013/9/21
57	やや強い雨	A	18	20	0.6	60	2013/10/9
58	やや強い雨	ABC	12	56	1.2	80	2013/10/27
59	弱い雨		5	10	0.3	5	2013/11/14
60	弱い雨		9	18	0.6	15	2013/12/2
61	弱い雨		8	19	0.45	10	2013/12/20
62	強い雨	ABC	25	41	0.65	150	2014/1/7
63	弱い雨		6	11	0.4	5	2014/1/25
64	弱い雨		10	15	0.45	10	2014/2/12
65	弱い雨		10	14	0.4	5	2014/3/2
66	長時間弱い雨		8	13	0.3	5	2014/3/20
67	やや強い雨	ABC	12	57	1.3	80	2014/4/7
68	弱い雨		8	12	0.4	5	2014/4/25
69	やや強い雨	B	18	34	0.6	40	2014/5/13
70	やや強い雨	ABC	15	55	1.2	60	2014/5/31
71	局地的大雨	B	36	53	0.9	110	2014/6/18
72	強い雨	ABC	22	55	1.2	90	2014/7/6
73	局地的大雨	A	51	64	0.95	320	2014/7/24
74	やや強い雨	C	18	36	0.8	50	2014/8/11
75	台風	ABC	26	111	1.3	250	2014/8/29
76	局地的大雨	C	31	48	0.8	80	2014/9/16
77	強い雨	A	21	44	0.55	60	2014/10/4
78	やや強い雨	ABC	15	68	1.2	70	2014/10/22
79	強い雨	ABC	25	42	0.9	110	2014/11/9
80	弱い雨		8	17	0.45	10	2014/11/27
81	弱い雨		8	13	0.4	10	2014/12/15
82	弱い雨		8	18	0.5	15	2015/1/2
83	長時間弱い雨		5	8	0.3	5	2015/1/20
84	やや強い雨	ABC	12	45	0.9	80	2015/2/7
85	弱い雨		5	9	0.3	5	2015/2/25
86	やや強い雨	ABC	15	49	0.7	70	2015/3/15
87	弱い雨		5	6	0.3	5	2015/4/2
88	強い雨	ABC	20	31	1.1	110	2015/4/20
89	やや強い雨	ABC	15	43	1.2	60	2015/5/8
90	やや強い雨	AB	12	21	0.4	30	2015/5/26
91	弱い雨		5	6	0.3	5	2015/6/13
92	強い雨	AB	22	30	1.1	90	2015/7/1
93	台風	ABC	26	91	1.4	140	2015/7/19
94	局地的大雨	C	42	51	0.9	120	2015/8/6
95	局地的大雨	A	32	47	1.1	200	2015/8/24
96	弱い雨		7	9	0.4	10	2015/9/11
97	台風	ABC	26	99	1.2	300	2015/9/29
98	弱い雨		7	13	0.5	10	2015/10/17
99	弱い雨		5	8	0.3	5	2015/11/4
100	弱い雨		8	14	0.4	15	2015/11/22

表 4 予報用データ

ID	降雨内容	降雨地点	最大時間雨量 (mm/h)	最大積算雨量 (mm)	水位最高値 (m)	取水濁度 ピーク値(度)	年月日
101	弱い雨		4	5	0.25	5	2016/7/4
102	長時間弱い雨		6	22	0.34	10	2016/7/21
103	強い雨	A	21	27	0.7	60	2016/8/7
104	やや強い雨	ABC	10	50	1.1	30	2016/8/24
105	局地的大雨	AB	42	63	1.1	150	2016/9/10
106	台風	ABC	27	147	2.1	300	2016/9/27

表 5 降雨状況と最大時間雨量との関係

降雨状況	最大時間雨量 (mm)
台風	30 以上 (長時間)
局地的大雨	30 以上
強い雨	20～30
やや強い雨	10～20
長時間弱い雨	10 未満 (長時間)
弱い雨	10 未満

2. パラメータ設定に関する考え方

典型的な雨量、水位、濁度上昇の観測結果（すなわち、モデル作成の基となる CSV データ）の例を、図 2 に示します。降った雨水が河川に出てくるまでには時間がかかりますので、しばらくしてから水位が増加します。また、観測点の位置関係によっては、水位上昇の開始と濁度上昇の開始にも時間差があります。降雨から濁度を予測するベイズ統計モデルを作成する場合には、これらの時間のずれを考慮しないと、多数の無意味なデータを作ることになります。

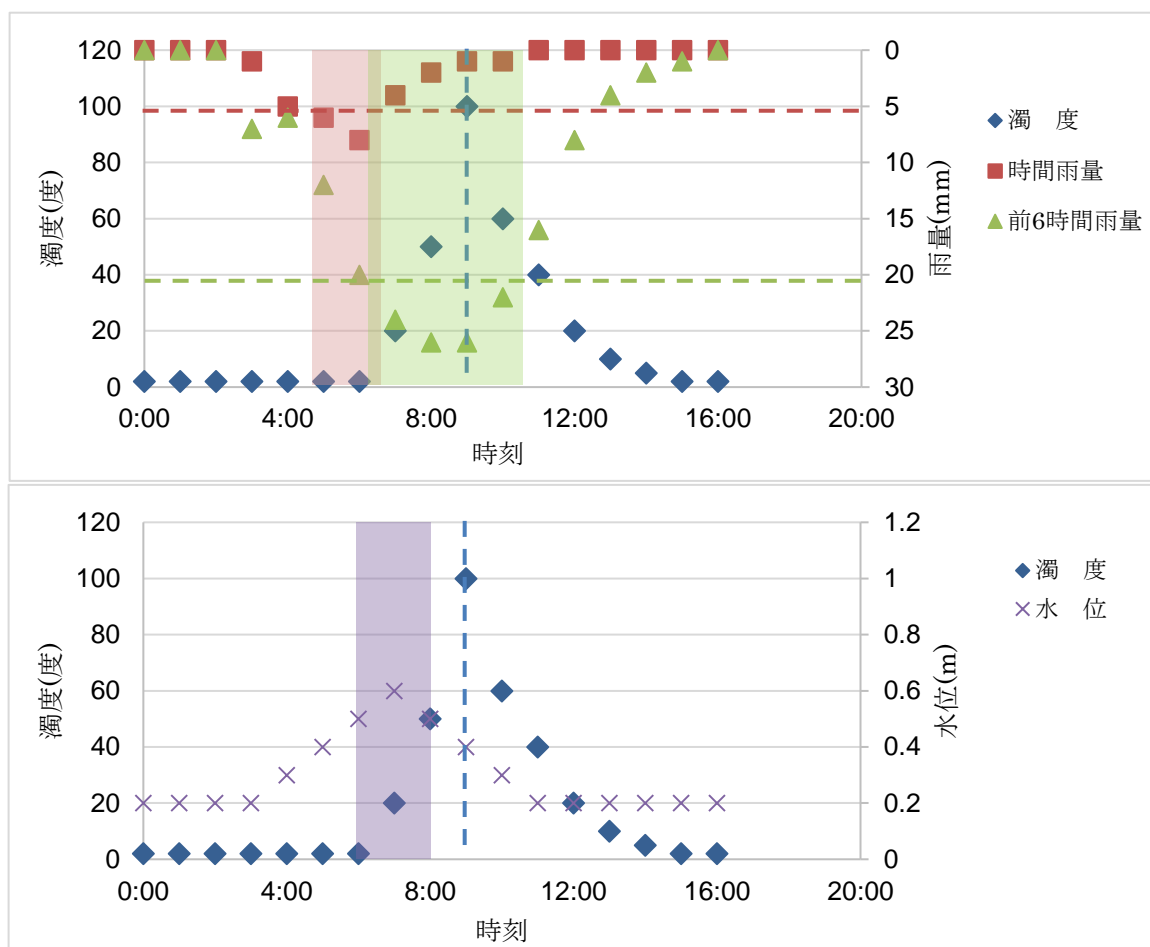


図 2 雨量、水位、濁度のトレンド図

ある与えられた時系列の雨量、水位、濁度のデータが、各項目の設定閾値を超過したかどうかを、0 と 1 の値で判定した結果を、閾値の設定値とともに表 6 に示しました。この表 6 を例として、各パラメータについて解説します。

表 6 図 2 の雨量元データ、ベイズモデル化のための閾値超過の判定

	元データ				閾値超過のみによる二値化			
	濁度 (度)	時間雨量 (mm/h)	前 6 時間 雨量※ (mm)	水位 (m)	濁度 (度)	時間雨量 (mm/h)	前 6 時間 雨量※ (mm)	水位 (m)
閾値 日時	100	6	21	0.5	—	—	—	—
2016/1/13 0:00	2	0	0	0.2	0	0	0	0
2016/1/13 1:00	2	0	0	0.2	0	0	0	0
2016/1/13 2:00	2	0	0	0.2	0	0	0	0
2016/1/13 3:00	2	1	1	0.2	0	0	0	0
2016/1/13 4:00	2	5	6	0.3	0	0	0	0
2016/1/13 5:00	2	6	12	0.4	0	1	0	0
2016/1/13 6:00	2	8	20	0.5	0	1	0	1
2016/1/13 7:00	20	4	24	0.6	0	0	1	1
2016/1/13 8:00	50	2	26	0.5	0	0	1	1
2016/1/13 9:00	100	1	26	0.4	1	0	1	0
2016/1/13 10:00	60	1	22	0.3	0	0	1	0
2016/1/13 11:00	40	0	16	0.2	0	0	0	0
2016/1/13 12:00	20	0	8	0.2	0	0	0	0
2016/1/13 13:00	10	0	4	0.2	0	0	0	0
2016/1/13 14:00	5	0	2	0.2	0	0	0	0
2016/1/13 15:00	2	0	1	0.2	0	0	0	0
2016/1/13 16:00	2	0	0	0.2	0	0	0	0

※ 前 6 時間雨量は、6 時間の積算雨量のことです。また、ここでは解説していませんが、累加雨量とは、降雨の開始から終了（システムが終了であると認識するまで）の 1 回の降雨イベントにおける積算雨量のことです。

(1) パラメータ「雨量超過を保持する時間」

表 6 では、時間雨量が閾値を超えている時間帯と濁度が閾値を超えている時刻が異なります。ベイズ統計用の 0-1 モデル（対象としているデータが閾値を超過した場合を 1、それ以外を 0 に置き換えた二値化データ）を作成するとき、ある時刻のデータをそのまま使用すると、濁度が閾値を超えた時刻（2016/1/13 9:00）において、前 6 時間雨量は 1 となりますが、時間雨量、水位は 0 となります。これでは、降雨と濁度増加の時間のずれを考慮したことにはなりません。上流部のゲリラ豪雨のような高強度短時間の雨は濁度上昇に影響があると考え、モデルを作成する場合、時間雨量が閾値を超えたことを保持する必要があります。そのためのパラメータが、「雨量超過を保持する時間」となります。例えば、「6」を設定した場合、最初に超過した時刻から 6 時間先までは、雨量に関わらず閾値超過を超過した扱い「1」とします。

(2) パラメータ「濁度閾値 2」

降雨が降ったりやんだりした場合、あるいは台風等で降雨が長期化したような場合、濁度上昇がかなり長時間にわたります。そのようなときには、「濁度閾値 2」を設定し、濁度が設定した値、つまりほぼ平常時に戻るまで、次の濁度上昇予報の出力を控えます。

(3) パラメータ「濁度上昇に影響する前時間」

降雨又は水位が閾値を超過しても、濁度は閾値を超過しない場合があります。降雨や水位の増加から濁度上昇までの監視時間を設けないと、0-1 モデルができませんので、「濁度上昇に影響する前時間」を設定し、最初の閾値超過から濁度が閾値を超えるかどうか監視する時間を与えます。前述の表 1 の到達時間と関連しています。

(4) パラメータ「まとめる時間」

大きくみれば一つの濁度上昇イベントですが、部分的には一度濁度が増加・減少した後、再び増加するような現象を示すケースもあります。水位についても同様です。このような複雑な現象をひとつのピークとして認識させるために、最初の雨量又は水位の閾値超過から「まとめる時間」が経過するまでの間は、閾値超過の有無にかかわらず、一つの 0-1 モデルとします。

「まとめる時間」が短すぎると、降雨と濁度の関係が分断されますので、場合によっては、空振り（雨量が閾値を超えても濁度が閾値を超えないこと）と見逃し（雨量が閾値を超えずに濁度が閾値を超えること）を多数生成することになります。流域が広い所では大きい値を設定します。

表 7 閾値超過とパラメータ設定後のモデル化の判定

	閾値超過				ベイズ統計モデル化			
	濁 度 (度)	時間雨量 (mm/h)	前6時間 雨量 (mm)	水位 (m)	濁 度 (度)	時間雨量 (mm/h)	前6時間 雨量 (mm)	水 位 (m)
閾値 日時	100	6	21	0.5	—	—	—	—
2016/1/13 0:00	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/1/13 1:00	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/1/13 2:00	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/1/13 3:00	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/1/13 4:00	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/1/13 5:00	0	1	0	0	0	1	0	0
2016/1/13 6:00	0	1	0	1	0	1	0	1
2016/1/13 7:00	0	0	1	1	0	1	1	1
2016/1/13 8:00	0	0	1	1	0	1	1	1
2016/1/13 9:00	1	0	1	0	1	1	1	1
2016/1/13 10:00	0	0	1	0	0	1	1	1
2016/1/13 11:00	0	0	0	0	0	1	0	1
2016/1/13 12:00	0	0	0	0	0	0	0	1
2016/1/13 13:00	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/1/13 14:00	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/1/13 15:00	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/1/13 16:00	0	0	0	0	0	0	0	0

- ・「雨量超過を保持する時間」：6 を設定した場合、7:00～11:00 までのデータが 0 から 1 に変わります。
- ・「濁度閾値 2」：10 度を設定。次の判定開始は、14:00 からとなります。
- ・「濁度上昇に影響する前時間」：4 時間以上を設定した場合、時間雨量が濁度に影響を与えたことになります。水位のみで判定をする場合は、水位の閾値超過からの時間となります。雨量と水位を併用する場合、どちらか先に閾値を超えた時刻からの監視時間となります。なお、3 時間を設定した場合、5:00～7:00 までが濁度上昇の監視時間となり、降雨があっても濁度が増加したことにはなりません。
- ・「まとめる時間」：10 時間を設定した場合、15:00 以降が次のピーク扱いとなります。設定条件としては、「まとめる時間」>「濁度上昇に影響する前時間」とならなければなりません。

上記のパラメータを与えて、濁度と時間雨量の関係をベイズ統計モデル化すると、2016/1/13 9:00 の段階で、濁度、時間雨量が全て 1 となり、次のピーク判定は、15:00 以降となります。この期間で 0-1 の組は一つだけとなります。

水位にも「雨量超過を保持する時間」「濁度上昇に影響する前時間」「まとめる時間」は有効

です。

指定した時間範囲内で過去データ（データ取得①）及び計算したい状況（データ取得②）の 0-1 データを全て作成した後、ベイズ統計手法で確率計算を行います。

なお、計算したい状況では、濁度が分からないことを想定しています（現状では閾値を超えた時刻のみでシミュレーションしています）ので、時刻変化とともに 0-1 の関係が変わってきます。本ツールでは、1 が最も多い時間帯でシミュレーションを行います。

また、0-1 のデータを時系列で準備すれば、毎時確率計算することも可能ですので、時間経過とともに確率が変化することが示されます。

3. 濁度上昇予報確率の計算事例

水位増加による濁度上昇を例に、計算方法及び結果を示します。濁度に関しては、ワークシート[3 モデルと閾値]で図 3 に示す通り閾値を設定します。100 度を超えた時、濁度が増加したこととしました。データを使用する範囲もここで設定します。

A)濁度閾値					
濁度データ (列)	取水濁度		濁度データ使用範囲		
	B		開始時刻	2011/01/03 00:00	
濁度閾値1(Tb_set)	100		終了時刻	2015/12/31 23:00	
濁度閾値2 (リセット時, Tb_reset)	10				

図 3 濁度に関して設定したパラメータ

水位に関しては、ワークシート[3 モデルと閾値]で図 4 に示す通り設定します。図 1 及び表 1 では、水位が増加して取水地点までおよそ 2 時間としましたが、「雨量閾値超過を保持する時間」及び「濁度上昇に影響する前時間」は、余裕を与える意味で少し大きい値である 4（時間）としました。一つのピーク扱いとする「まとめる時間」は 48 としました。水位の閾値は全ての月で 1.0 m としました。なお、水位実績値と閾値が同じ値の場合、閾値を超えた扱いとなります。

B)雨量、水位閾値									
入力項目 (列)	D地点水位								
	E								
雨量の演算 (時間)	水位								
1月	1								
2月	1								
3月	1								
4月	1								
5月	1								
6月	1								
7月	1								
8月	1								
9月	1								
10月	1								
11月	1								
12月	1								
データ選択	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
雨量閾値超過を 保持する時間(h)	4		まとめる時間(h)		48		濁度上昇に影響する 前時間(h)		4

図 4 水位に関して設定したパラメータ

表 2、表 3 のデータを水位に関して整理した結果を表 8 に示します。

表 8 水位と濁度の閾値超過に関する色分け

色分け	水位超過	濁度超過	事例数
	あり	あり	14
	あり	なし	13
	なし	あり	8
	なし	なし	65

濁度上昇確率は、水位が閾値を超過した時に濁度が閾値を超過した確率（濁度上昇ありの事後確率）です。計算方法の詳細は、成果報告書に譲りますが、ここでは、水位が閾値を超過した時に濁度が増加する濁度上昇確率を計算します。表 4 では、8 月 24 日、9 月 10 日、9 月 27 日が該当します。

濁度が閾値を超過した時に水位が閾値を超過した確率（濁度上昇ありの尤度）、濁度が閾値を超過しなかった時に水位が閾値を超過した確率（濁度上昇なしの尤度）は、それぞれ次のとおりとなります。

$$\text{濁度上昇ありの尤度} = 14 \div (14+8) = 0.636$$

$$\text{濁度上昇なしの尤度} = 13 \div (13+65) = 0.167$$

濁度が増加する事前確率、濁度が増加しない事前確率は、それぞれ次の通りとなります。

$$\text{濁度が増加する事前確率} = (14+8) \div (14+13+8+65) = 0.22$$

$$\text{濁度が増加しない事前確率} = 1 - \text{濁度が増加する事前確率} = 0.78$$

よって、濁度上昇ありの事後確率は、

$$\text{濁度上昇ありの事後確率} = 0.636 \times 0.22 \div (0.636 \times 0.22 + 0.167 \times 0.78) = 0.518$$

となり、ツールから 52%と出力されます。

以上