

河川汽水域への海水浸入後経過時間および 海水残留時間の数値解析による評価

国土技術政策総合研究所
環境研究部 河川環境研究室

室	長	天野	邦彦
主任研究官		大沼	克弘
研究官		遠藤	希実

目的

- 本研究は、海側から河川汽水域に浸入した塩水の滞留時間を定量的に評価することが可能となる新たなモデルを開発し、このモデルにより汽水域における塩水滞留時間についての検討を行うことを目的とする。
- 塩分の滞留時間を評価することで、河川汽水域においてしばしば問題となる河川汽水域底層における貧酸素水塊発生機構や、プランクトンの集積現象の理解にもつながることから、河川汽水域における水質および生態系保全の一助になると考えられる。

滞留時間の概念整理

滞留時間 (Flushing time) :
水域の平均的特性を規定しうる.

経過時間 (Age) :
貧酸素水塊の形成などの現象を規定しうる.

残留時間 (Residence time) :
赤潮の形成などの現象を規定しうる.

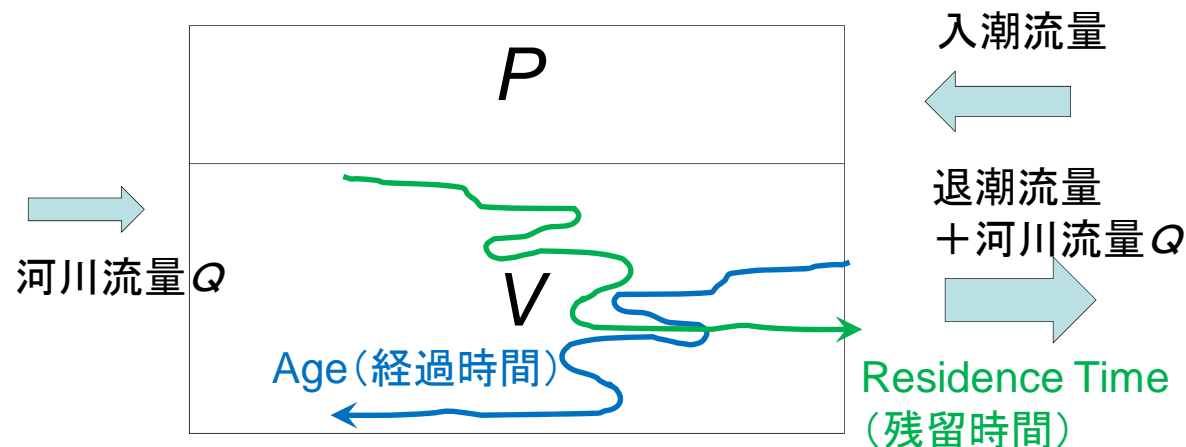
Flushing Time (滞留時間)

Flushing Time (T_f)は、「ある貯留領域の中にあるスカラー量に対するこのスカラー量の更新率に対する比」と定義される.

$$T_f = V / Q \quad (\text{順流の場合})$$

$$T_f = VT / (1 - b)P \quad (\text{汽水域の場合})$$

ここで、 V :領域の体積、 Q :体積流量、 P :タイダルプリズム (満潮位と干潮位間の汽水域体積)、 T :潮汐時間、 b :再帰流係数 (=0.0~1.0)



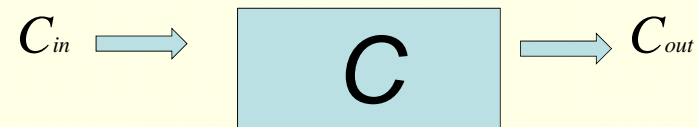
モデル概要

- 塩分濃度の変化を記述する移流拡散方程式は、塩分濃度のみが未知関数。
- このため線形微分方程式として表される（右式）。
- 塩分濃度について、通常と同じ移流拡散方程式を適用しつつ計算変数を分画した塩分毎に独立の変数として個別に分割して計算すれば、設定した境界をある時点に通過した塩分や設定した領域内にある時点において存在した塩分の濃度を他の属性を持つ塩分と個別に計算することが可能である。

通常モデル

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{c}}{\partial z}$$

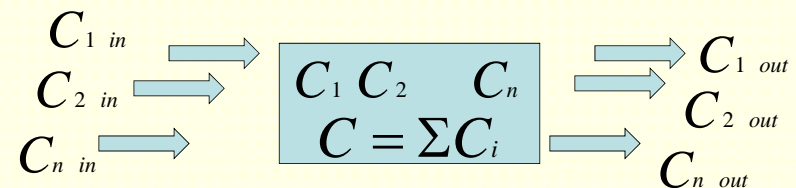
$$= \frac{\partial}{\partial x} \left[A_H \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_H \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_H \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} \right]$$



分画モデル

$$\frac{\partial \bar{c}_i}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{c}_i}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{c}_i}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{c}_i}{\partial z}$$

$$= \frac{\partial}{\partial x} \left[A_H \frac{\partial \bar{c}_i}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_H \frac{\partial \bar{c}_i}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_H \frac{\partial \bar{c}_i}{\partial z} \right]$$



経過時間及び残留時間の集計

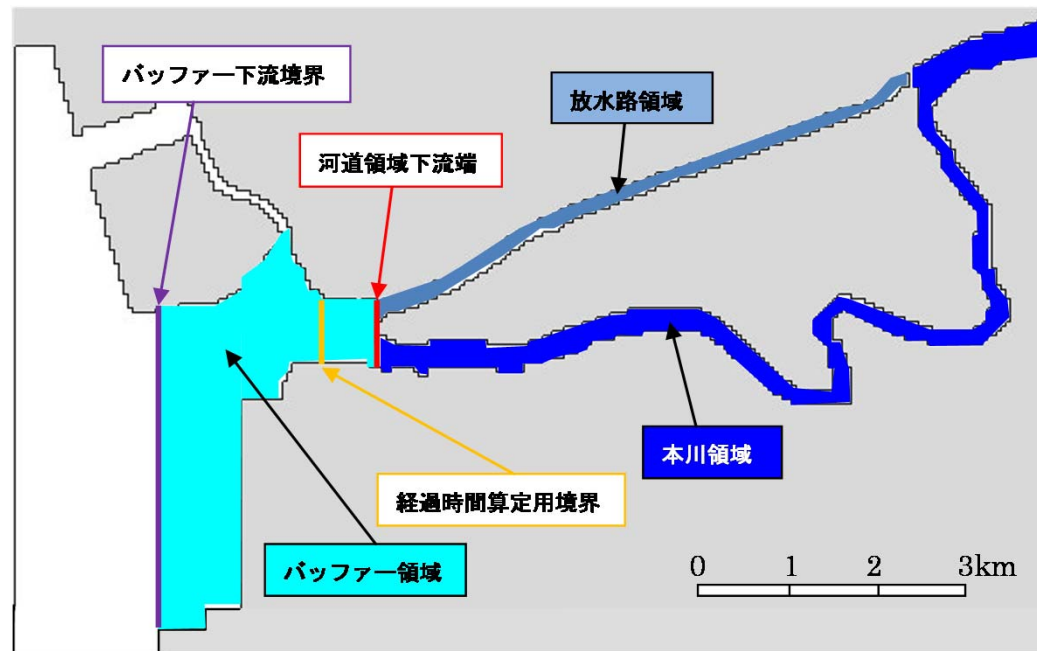
- 集計の対象とする領域（河道領域）を設定。河道に浸入した塩分の経過時間を集計する場合には、この断面を上流側に向けて流入する時点を記録することで塩分を分画して計算。また残留時間の集計の際には、この断面より上流側で、ある時点において存在する塩分を分画して計算。

$$\overline{T_{age}(x_i, y_j, z_k, t_n)} = \sum_{A=1}^n \frac{(n-A)S_A(x_i, y_j, z_k, t_n)}{S_A(x_i, y_j, z_k, t_n)} \delta t$$

ここで、 S_A ：分画Aに対応する塩分濃度（本稿では集計計算開始日をA=1として、経過時間を求めたい時点のn日目まで、一日ごとにAを1増加させて分画している。）、 δt ：分画の時間単位（本稿では1日）である。

バッファの設定

- 河道領域の最下流端から干潮時に下流へ一旦流れ出た塩分の一部については、満潮時に再度河道領域に浸入する可能性がある。
バッファ下流境界と示された箇所に断面を設けて、その箇所と河道領域の最下流端断面で挟まれた領域をバッファとして設定し、河道領域から下流へと流出しても、このバッファ内に存在する間は経過時間、残留時間共にカウントを継続し、バッファ下流の断面から海側へ流出した際にカウントを終了した。

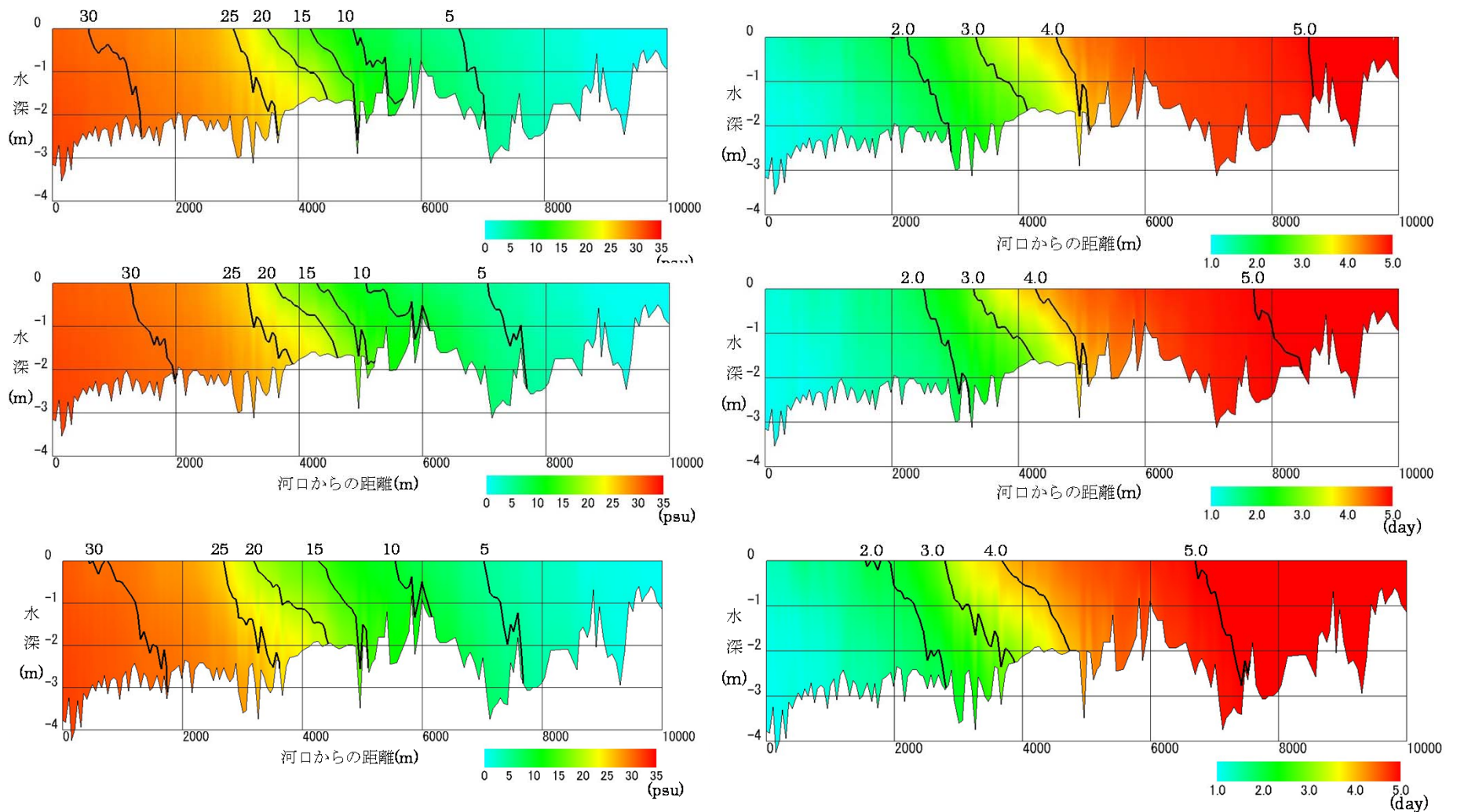


計算ケース

- 2007年1月1日から2月28日までの2ヶ月間の条件で計算

計算対象	条件	
河口部における塩分経過時間	現況河道条件	潮位について4ケース、 (現況潮位, 10, 20, 40cm潮位上昇) 河川流量について4ケース (5, 10, 20, 40 m ³ s ⁻¹)
	20%掘削断面	
	20%拡幅断面	
赤潮プランクトンを想定した仮想懸濁物の残留時間	現況河道条件, 現況潮位, 流量	

塩分および経過時間の分布（本川）

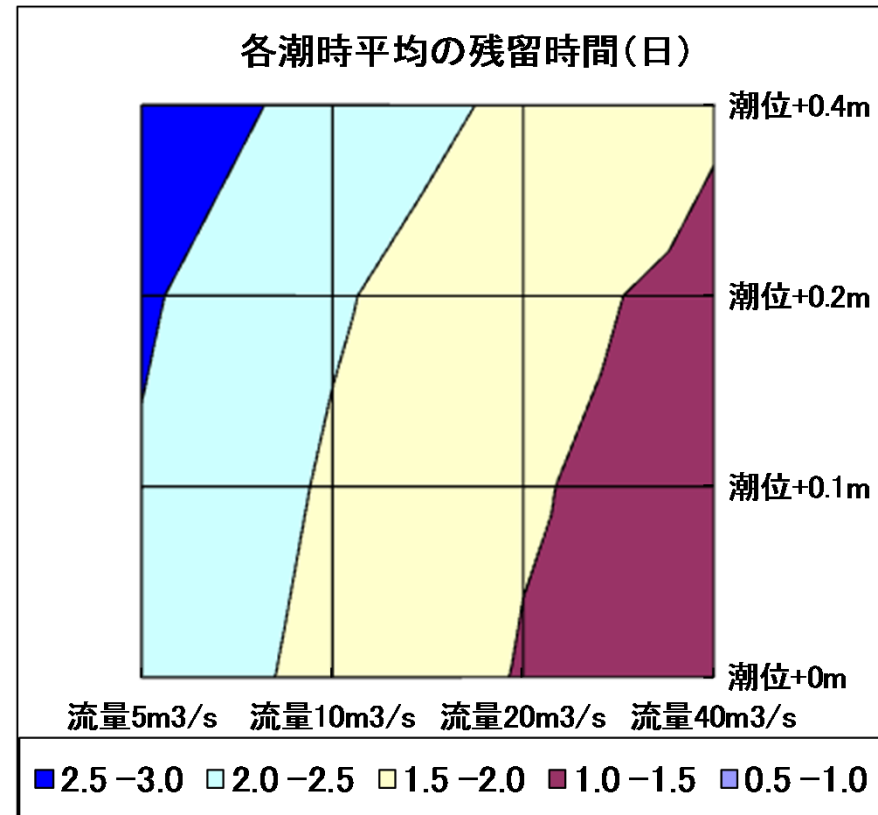
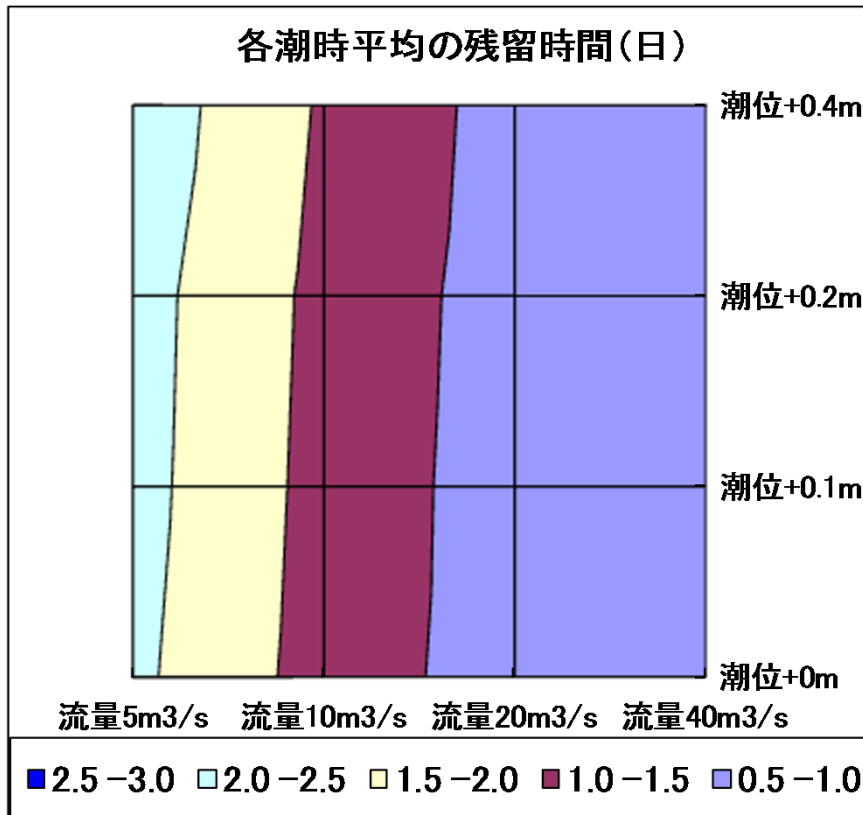


塩分：左側

経過時間：右側

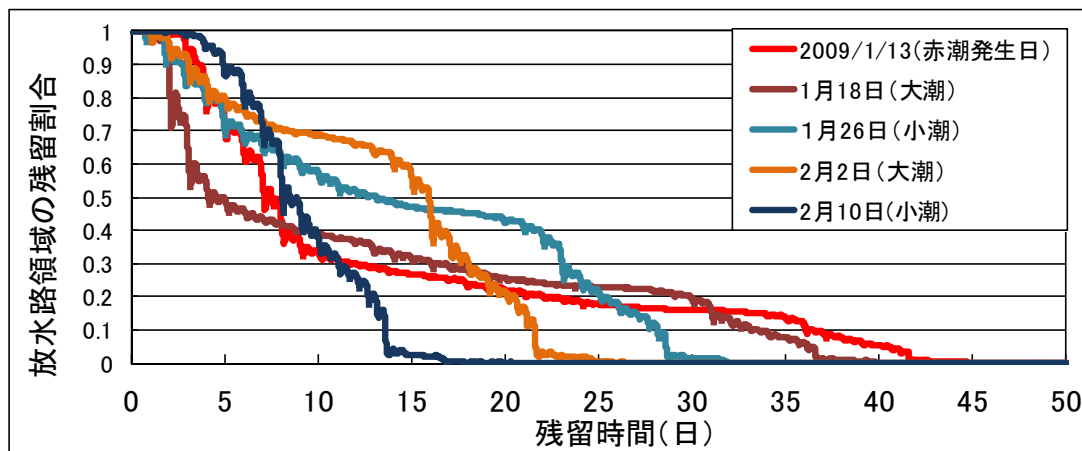
上から現況河道，20%拡幅断面，20%掘削断面

潮位，流量を変化させた場合の残留時間変化 (左側：本川，右側：放水路)

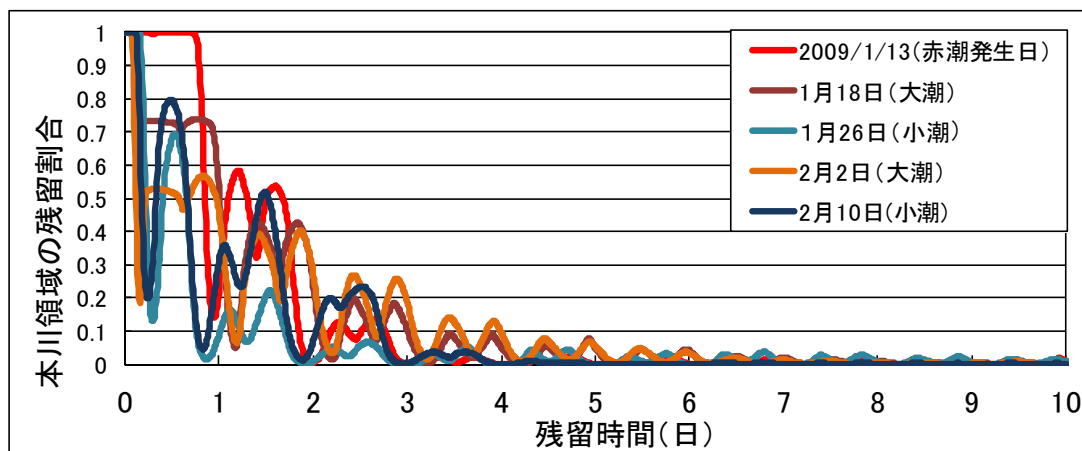


河川流量低下に伴い残留時間は長くなる。放水路では潮位上昇による長期化が本川に比べて顕著

仮想懸濁物の領域内残留割合変化と平均残留時間



放水路



本川

設定日時		赤潮発生日	大潮日	小潮日	大潮日	小潮日	平均
		1月13日0時	1月18日3時	1月26日7時	2月2日4時	2月10日5時	
平均残留時間(日)	放水路	13.32	12.18	15.14	13.48	9.48	12.72
	本川	2.49	2.12	1.58	2.10	1.84	2.02

まとめ

- 移流拡散による濃度変化計算モデルにおける変数を時間情報を付与して分画することで、物質（塩分、懸濁物）がある領域に侵入してからの経過時間や、ある領域に存在する物質（塩分、懸濁物）がその領域から流出するまでの残留時間を領域内の任意の箇所において計算することが可能となった。
- 河道形状変化の影響を見た場合、塩分濃度変化のみでなく、経過時間変化が顕著になる場合も想定された。
- 塩分の残留時間については、放水路、本川ともに大きな違いはなかったが、浮力を有する仮想懸濁物の残留時間は、放水路で顕著に長くなった。放水路による赤潮の頻発は、浮力を有する藻類の残留時間が長期化することで、可能となったと考えられる。また、本川流量が多いと、放水路での浮遊物の残留時間は短くなる。本川流量が低下する冬季に赤潮が出やすくなると考えられる。
- 通常の水質計算同様にオイラー的扱いで変化を算定すると共に、時間的特性（残留時間や経過時間）も算定することが可能な本モデルは、水質変化やプランクトンの消長にとって重要な滞留時間について、残留時間、経過時間に分けて解析することが可能であり、特に汽水域のような流れが複雑な場所での水質現象の解明に役立つと考えられる。

塩分および経過時間の分布（放水路）

