

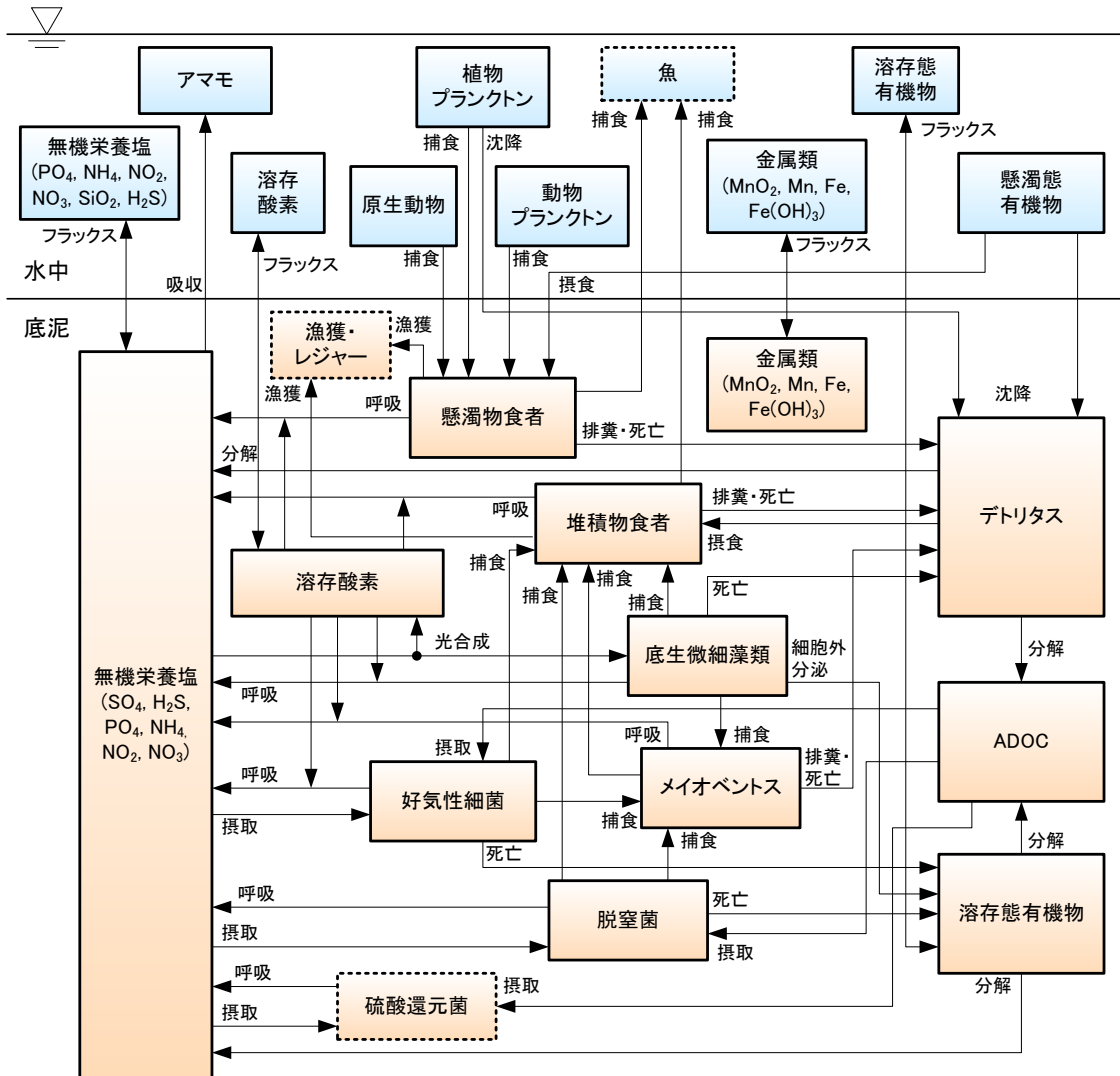
遺伝的アルゴリズムを用いた 底生生態系モデルのパラメーター調整

国土交通省東北地方整備局秋田港湾事務所 佐藤朋之
港湾空港技術研究所 井上徹教

背景・目的

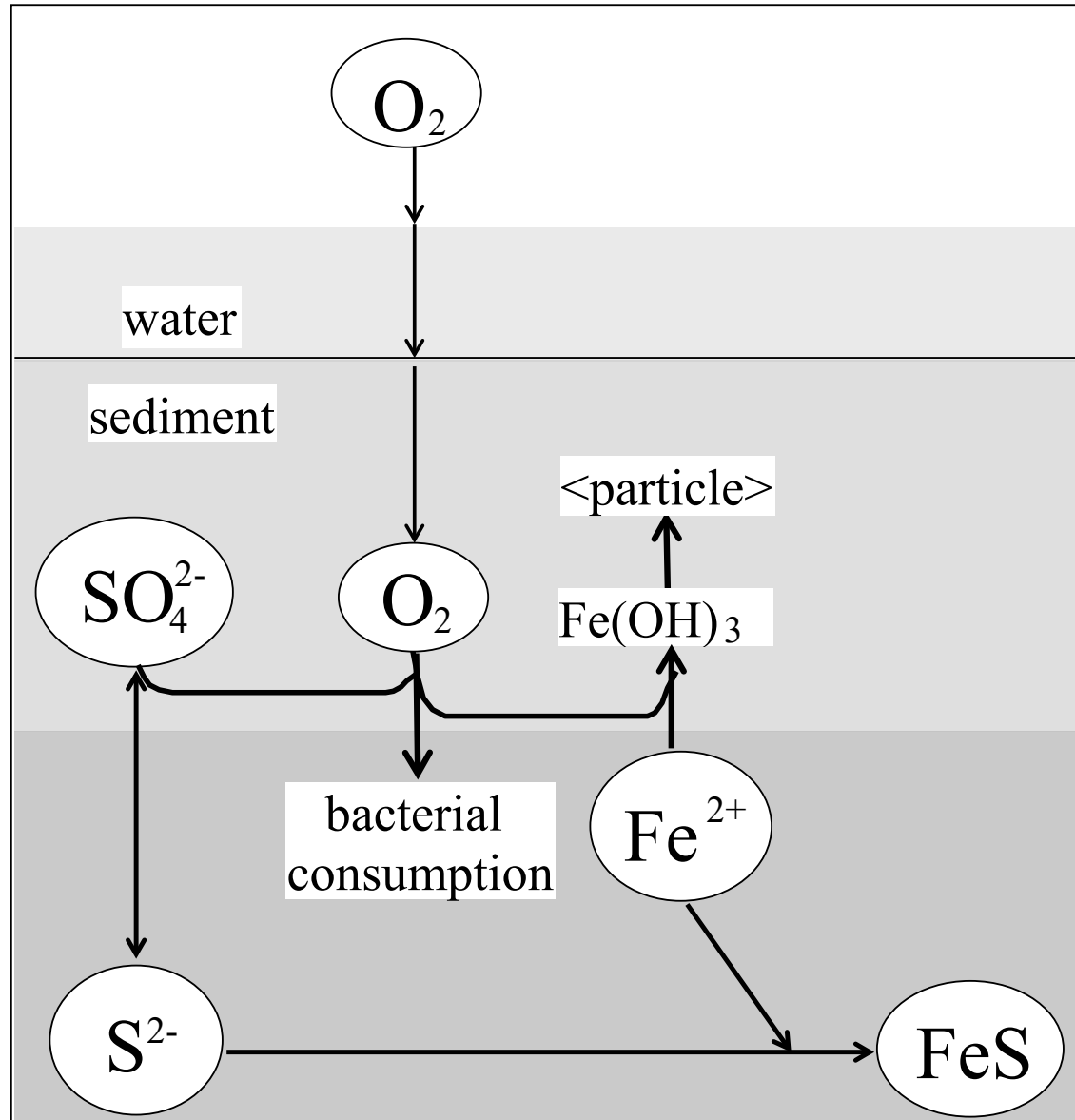
- 沿岸環境での物質循環を検討するうえでは、堆積物中での物質動態も一つの重要な検討項目となる。
- 堆積物内の過程は、複数の反応過程が相互に関係する複雑な構造を呈しており、人の手でパラメーターチューニングを行うことは多大な労力を要する。
- 本研究では、遺伝的アルゴリズムを用いたパラメーターチューニングを試みる。
- また、得られた結果からパラメータの季節変動を確認し、今後のモデル改良に資する知見を得る。

堆積物モデル (EcoPARI)



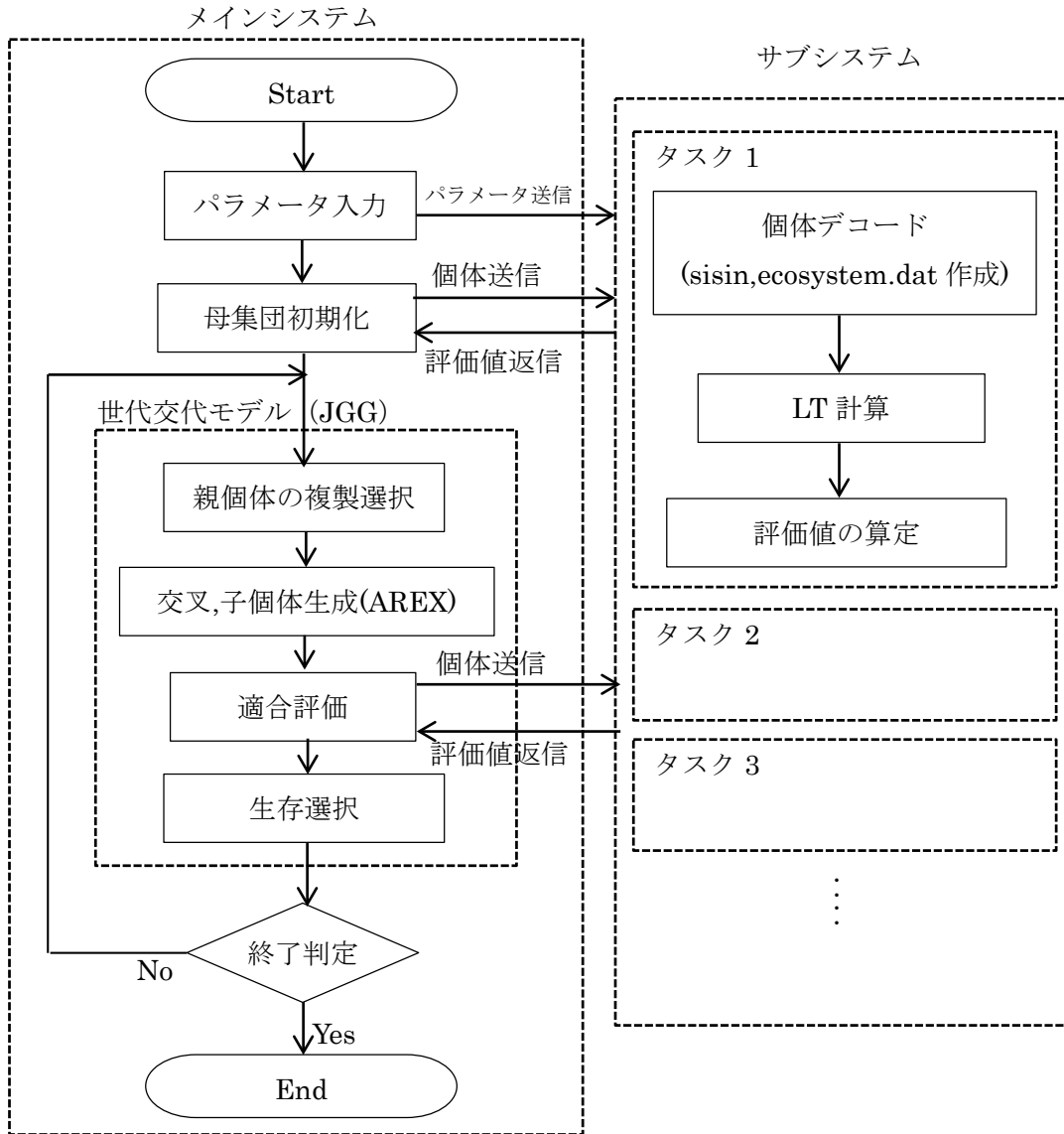
調整パラメーター数: 91個

堆積物モデル (EcoPARI)



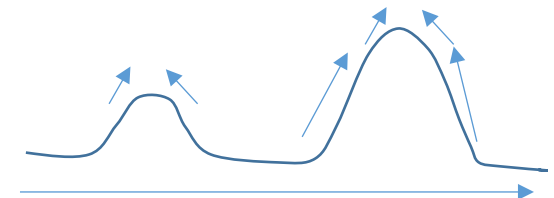
遺伝的アルゴリズムを用いたパラメータチューニング

システム概念図

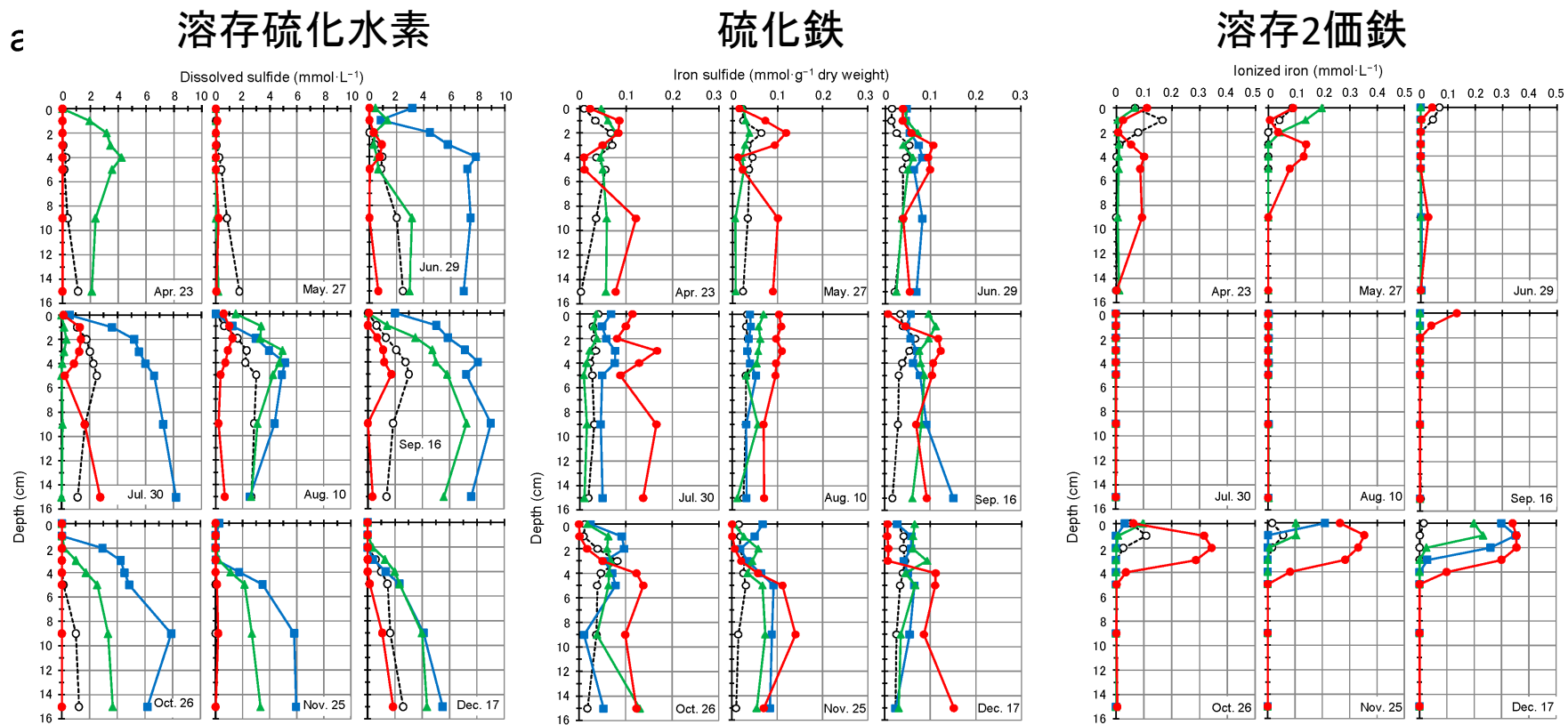


実数値遺伝的アルゴリズム (小林, 2009) を用いて、複数のパラメータを同時調整するシステムを構築。

交叉方法には適応的実数値交叉 AREX (Adaptive Realcoded Ensemble Xover, 秋元ら 2009)、世代交代には多親世代交代モデル JGG (Just Generation Gap, 秋元ら 2010) を採用。



比較対象とした観測値



Waku, M., Sone, R., Inoue, T., Ishida, T., & Suzuki, T. (2023). Spatial-temporal distribution and interrelationship of sulfur and iron compounds in seabed sediments: A case study in the closed section of Mikawa Bay, Japan. *Water*, 15(19), 3465.

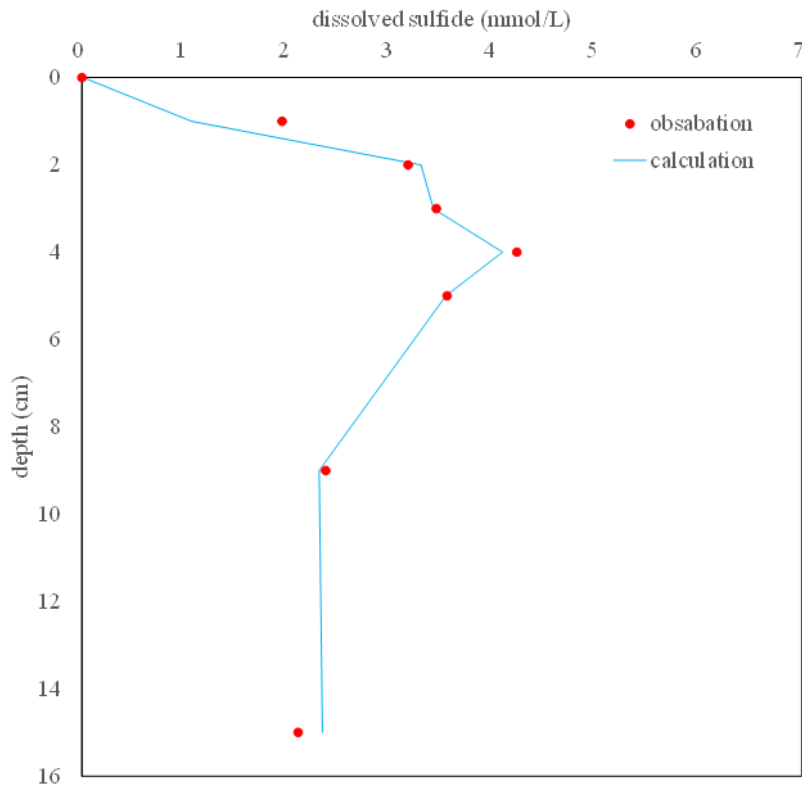
チューニングの実施手順

- ・各観測項目の鉛直分布について、月別に整理、ファイル化
- ・ダミー値を初期条件、1月から4月までの底層水質の変動を上側境界条件の時系列として与え、4月の観測値を目標として期間中のパラメータチューニングを行う。
- ・得られた最適パラメータを用いて計算した結果を、4月の初期条件とする。
- ・その初期条件を使って、4月から5月にかけてのパラメータチューニングを行う。
- ・以下同様の手順で、12月までおこなう。

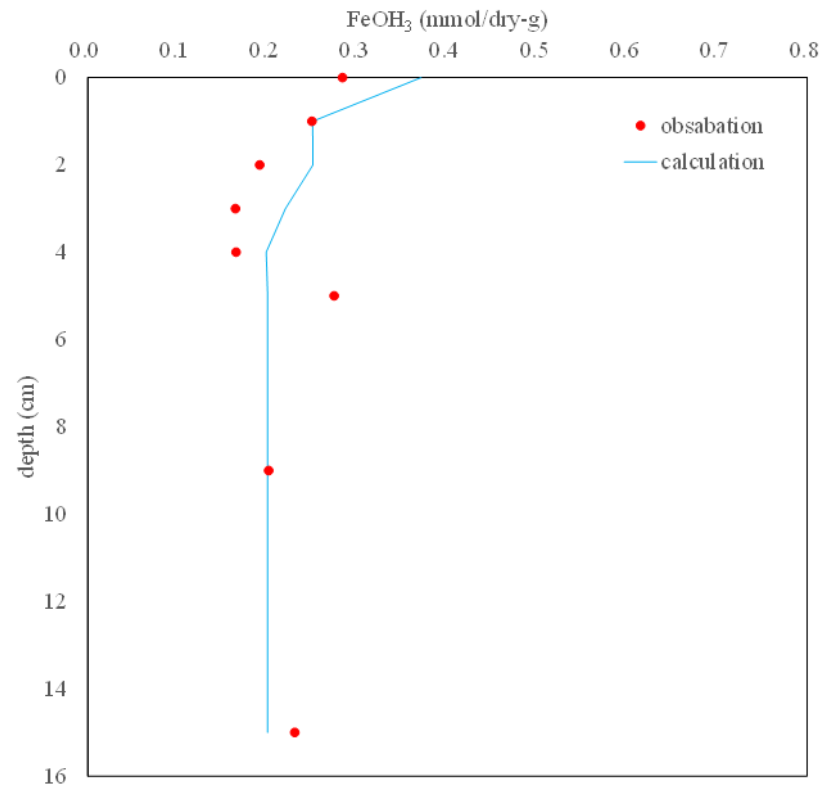
↓

4月から12月までの、月別の最適パラメータを得る。

チューニングの結果の一例

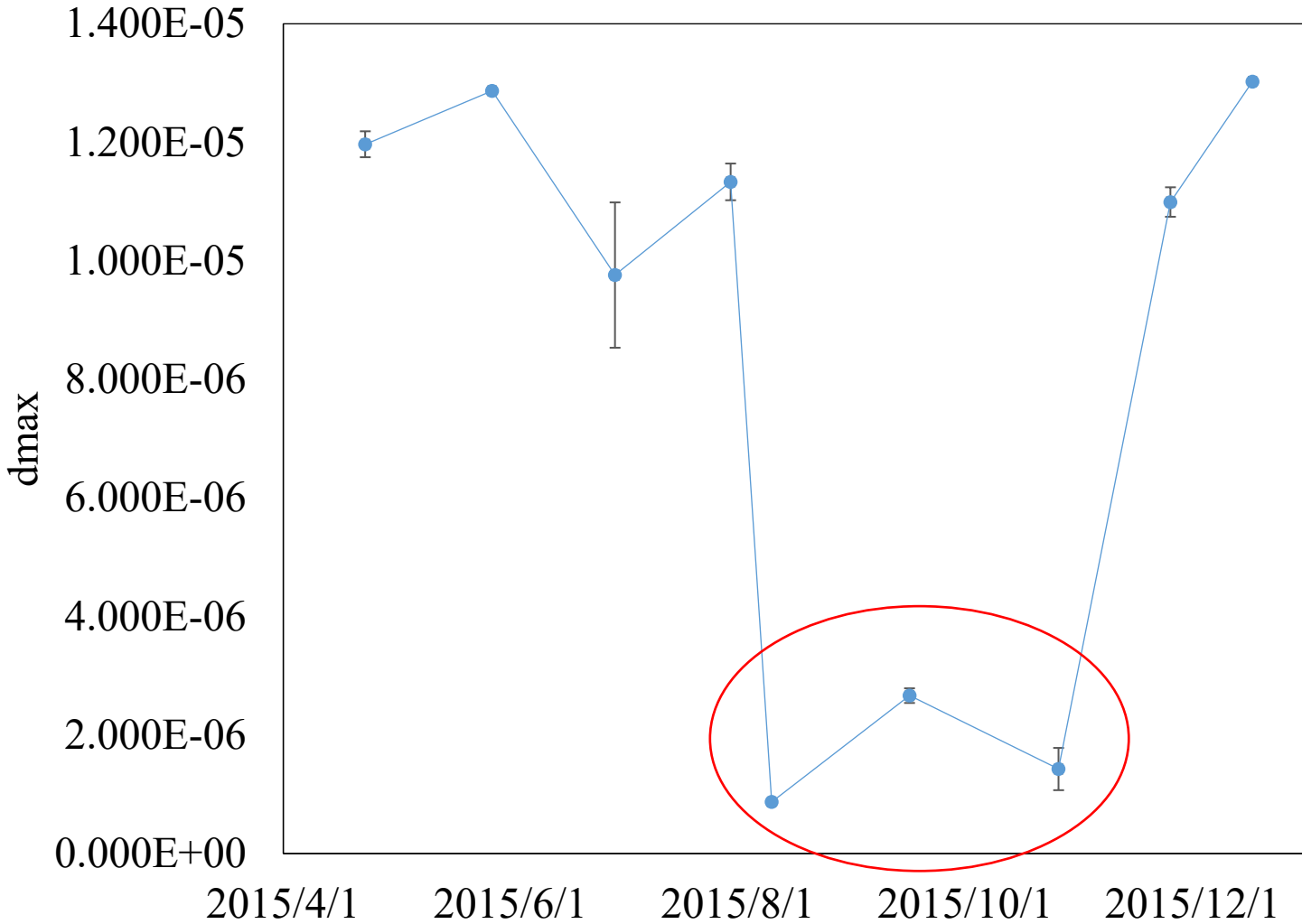


間隙水中硫化水素濃度



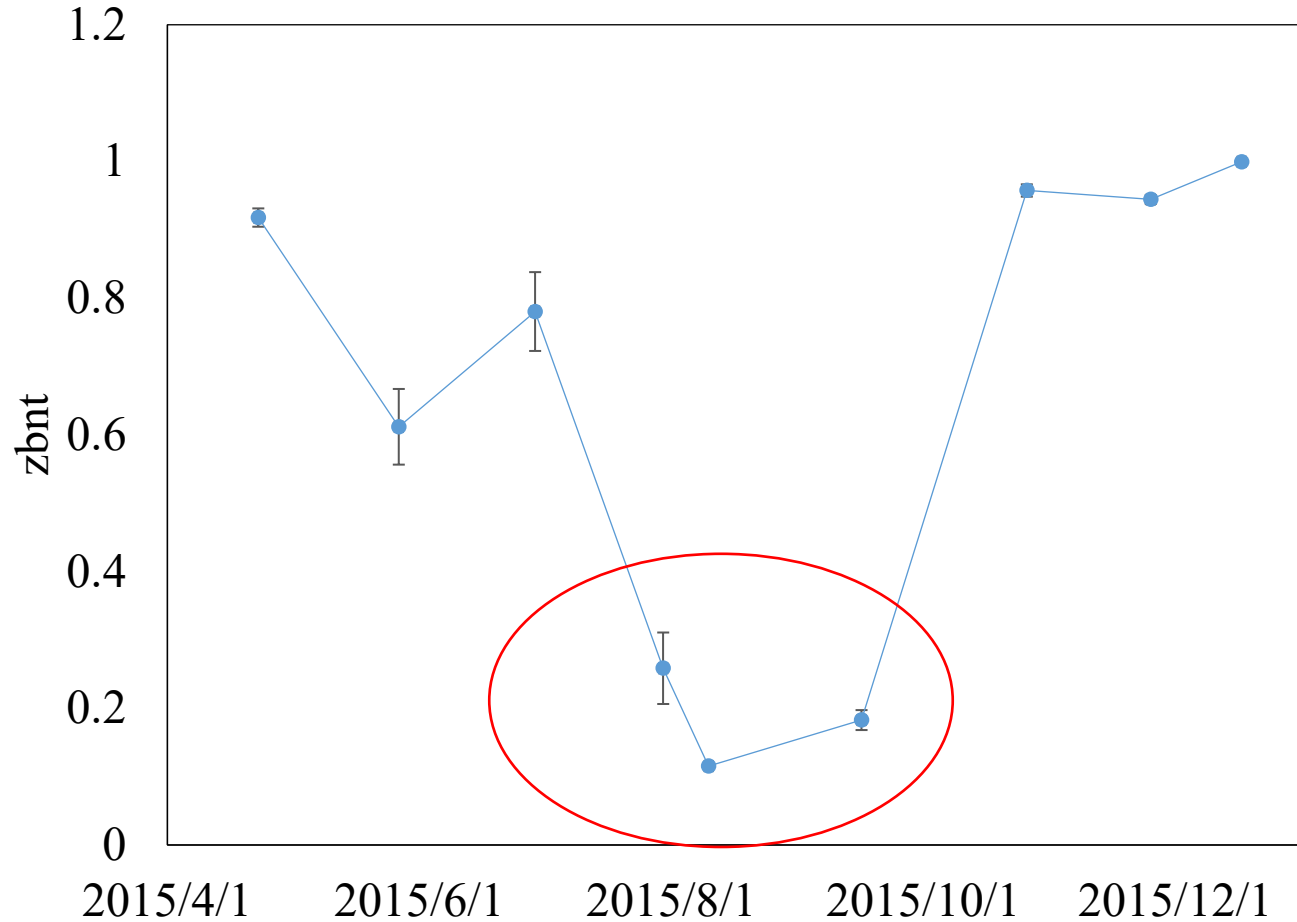
堆積物中酸化水酸化鉄含有量

dmax(生物擾乱による最大拡散係数[m²·s⁻¹])の月別変動



底生生物による擾乱が少ないと思われる夏季に生物による擾乱が小さくなる

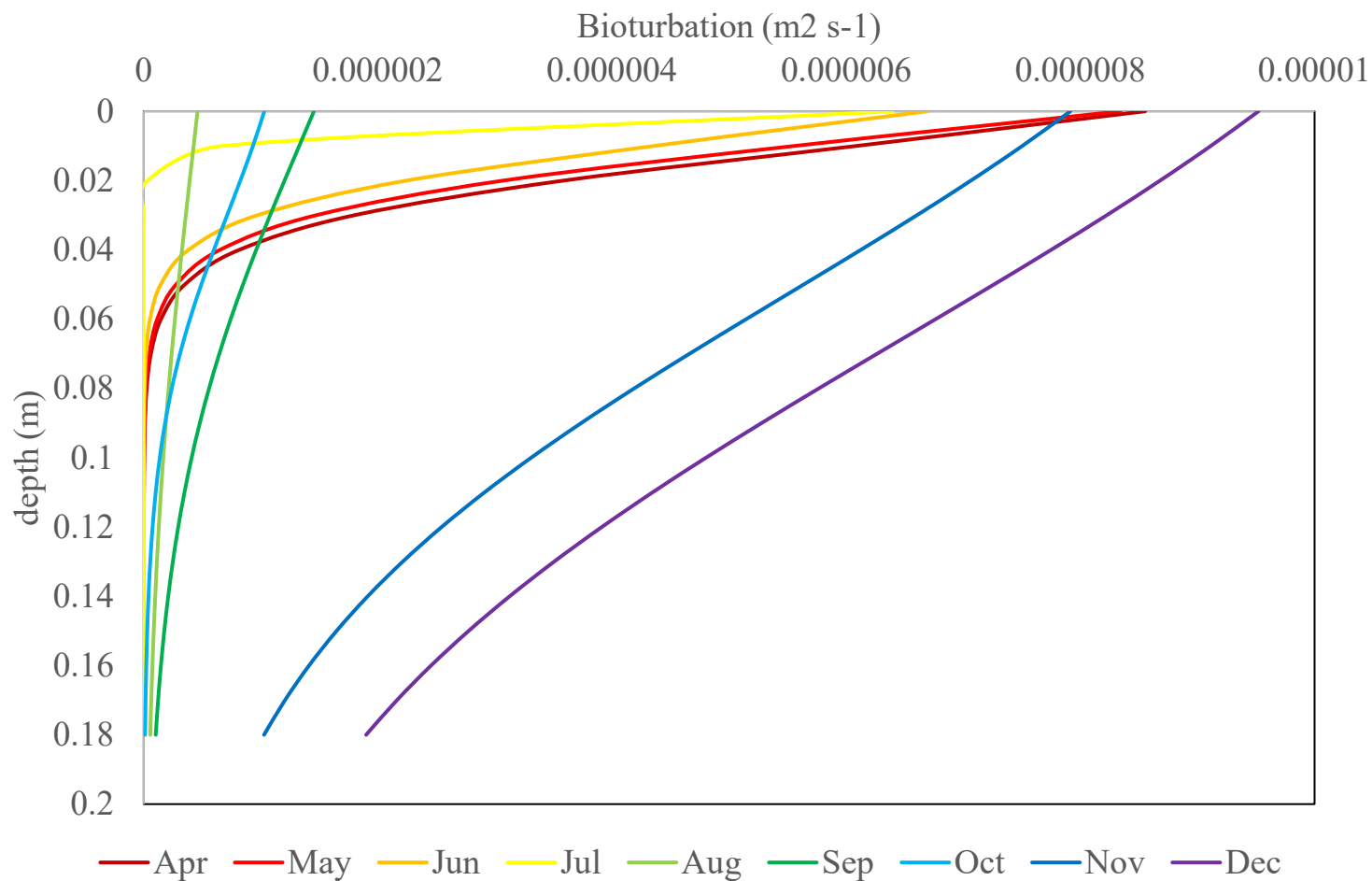
zbnt(マクロベントスの生息域を表現する長さスケール[m])の月別変動



$$f_{bio}(\alpha_{bio}, z_{bnt}) = \frac{1}{1 + \exp\{\alpha_{bio} \cdot (z - z_{bnt})\}}$$

夏季に生息域が狭くなる

バイオターベーションの鉛直分布の月別変動



夏季(貧酸素期?)前、中、後で分布が異なる

まとめ 1

- 約1か月毎に観測された堆積物中の硫黄、鉄濃度等の鉛直分布を参照し、遺伝的アルゴリズムを用いた、パラメータチューニングを行った。
- その結果、それらの鉛直分布については、高精度で再現できることが確認された。
- いくつかのパラメータで、最適化による季節変動がみられた。これらの変動は、物理的にも意味のある挙動であると考えられた。

まとめ 2

- パラメータ最適値の季節変動から、今後のモデル改良の要否の検討が必要。
- 比較対象とした観測値に対して、強い影響を及ぼすと思われるパラメータのチューニングは、効率よく行えたと判断。
- 一方、今回の手順では収束しないパラメータも存在。
- 以上の結果から、さらに効率の良い手順を検討したい。
- モデル化している物質循環過程の良否についても検討を要する。

JGG (Just Generation Gap)

- JGGは集団の初期化後、以下のステップを繰り返す。
 - 親個体選択：交叉に参加する親 μ 個体を集団内から一様ランダムに非復元抽出する。
 - 子個体生成と評価：交叉による子個体生成と評価を繰り返し、実行可能個体を λ 個体($\lambda > \mu$)生成する。
 - 生存選択：子個体のうち評価値上位 μ 個体を親個体と入れ替え、集団に加える。

AREX (Adaptive Recoded Ensemble Xover)

AREX では、交叉に参加する親数を μ 、選択された親を $\mathbf{y}_1, \dots, \mathbf{y}_\mu$ とすると生成される子個体 \mathbf{x}_i は

$$\mathbf{x}_i = \mathbf{m} + \alpha \sum_{j=1}^{\mu} \epsilon_{i,j} (\mathbf{y}_j - \langle \mathbf{y} \rangle)$$

$$\mathbf{m} = \sum_{j=1}^{\mu} w_j \mathbf{y}_{j:\mu}, \quad \langle \mathbf{y} \rangle = \frac{1}{\mu} \sum_{j=1}^{\mu} \mathbf{y}_j$$

α は拡張率、 $\epsilon_{i,j}$ は平均 0、分散 σ^2 の正規分布に従う乱数、 $\mathbf{y}_{j:\mu}$ は親 μ 個体のうち評価値上位 j 番目の個体をあらわし、また $w_j = 2(\mu + 1 - j) / (\mu(\mu + 1))$ は線形の重みで $\sum_{j=1}^{\mu} w_j = 1$ である。AREX では子個体の評価に応じて拡張率適応を行うため、 α を以下のように定める。

$$\alpha_{g+1} = \max \left(\alpha_g \sqrt{(1 - c_\alpha) + c_\alpha \frac{L_{cdp}}{L_{avg}}}, \quad 1 \right), \quad \alpha_1 = 1$$

$$L_{cdp} = \alpha_g^2 (\mu - 1) \left(\sum_{j=1}^{\mu} \langle \epsilon_j \rangle_{\mu_\alpha}^2 - \frac{1}{\mu} \left(\sum_{j=1}^{\mu} \langle \epsilon_j \rangle_{\mu_\alpha} \right)^2 \right)$$

$$L_{avg} = \alpha_g^2 \sigma^2 (\mu - 1)^2 / \mu_\alpha$$

添字 g は世代番号、 c_α は学習率、 $\langle \epsilon_j \rangle_{\mu_\alpha}$ は $\epsilon_{i,j}$ のうち評価値上位 μ_α 番目までの平均値を表す。