

• 地表形状を考慮した風の間を知りたい

- 風の分布と生物の分布の関係
- 植物(例えば松林)の影響
- 可能なら温度や水蒸気場も

• 固体境界を設定して数値的に解く

- **ドローンで取得した地形データ**が利用可能

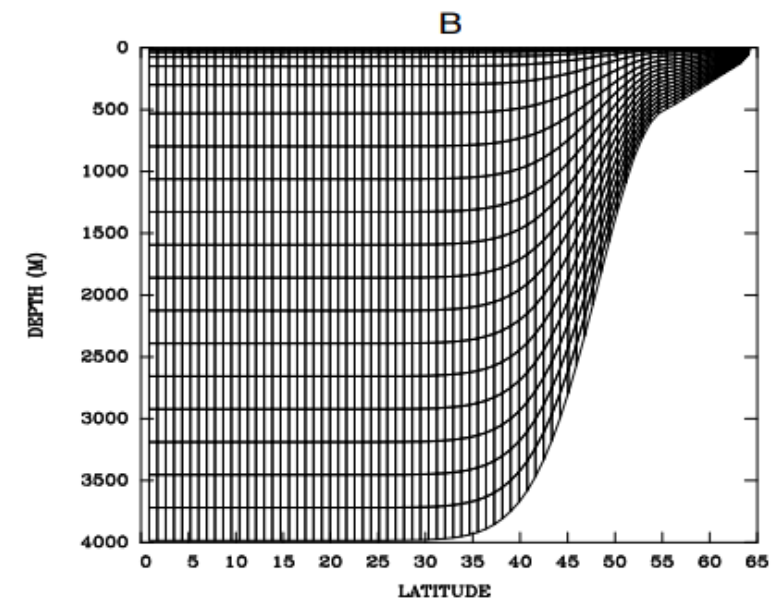
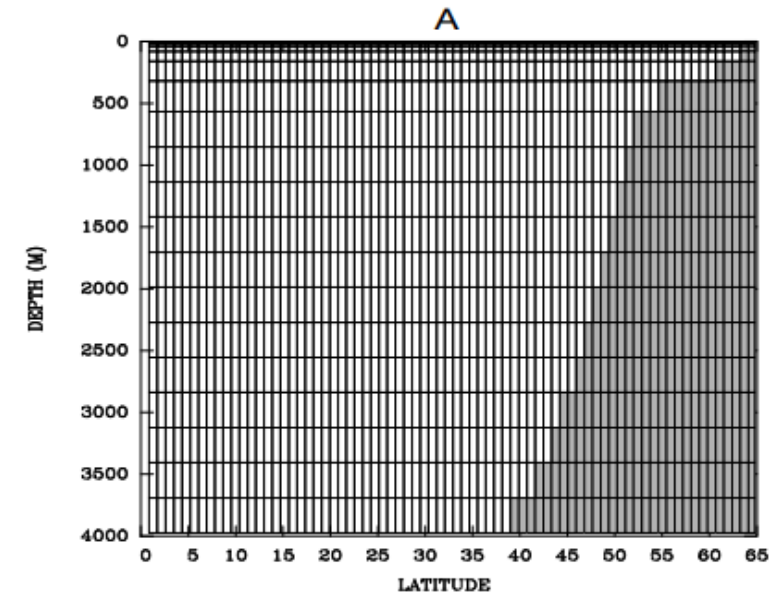
• 地形の表現をどうする？

• z座標(右図上)

- 保存性がいいらしい
- 境界が階段状

• σ 座標(右図下)

- 境界層を表現しやすい
- 座標変換する必要あり
- 非圧縮なら複雑なポアソン方程式
- 多少圧縮性を入れてもいい



Mellor et al. 2002

埋め込み境界法 (Immersed Boundary Method)

• 直交格子のまま壁面を表現する計算手法

• Direct forcing method

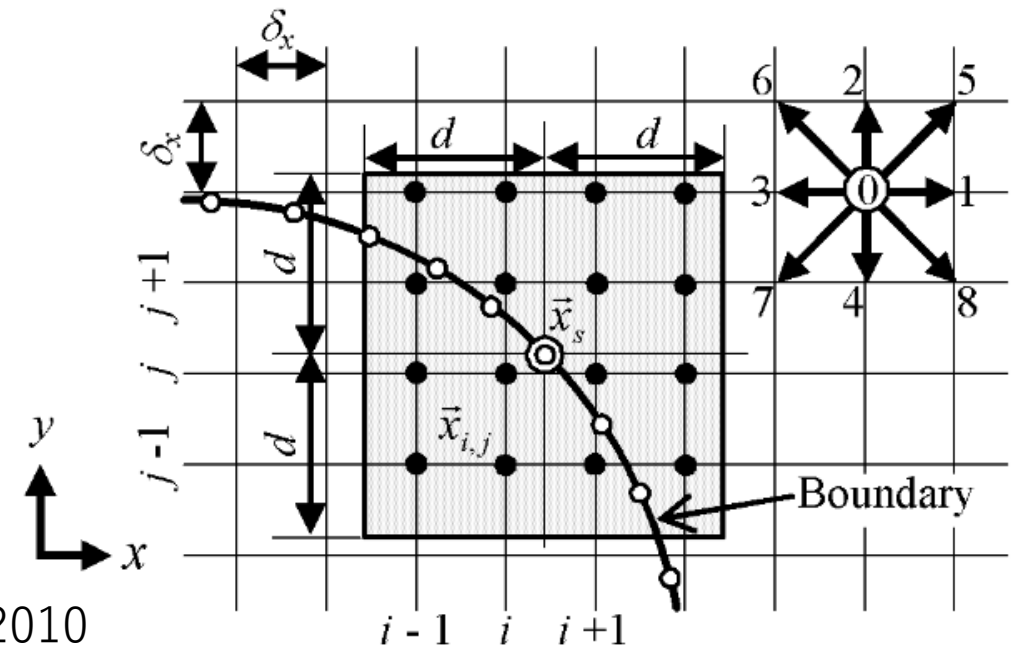
- 固体境界に点を配置し、外力をかけてそこで境界条件が満たすようにする (no slip条件)
- 点の座標データが必要 → **ドローンのデータが使える**

支配方程式：運動方程式・連続の式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla)u = -\nabla p + \frac{1}{Re} \Delta u + F$$

$$\nabla \cdot u = 0$$

$$F = \frac{1}{\Delta t} (u_w - u) \delta_w (x_w - x)$$

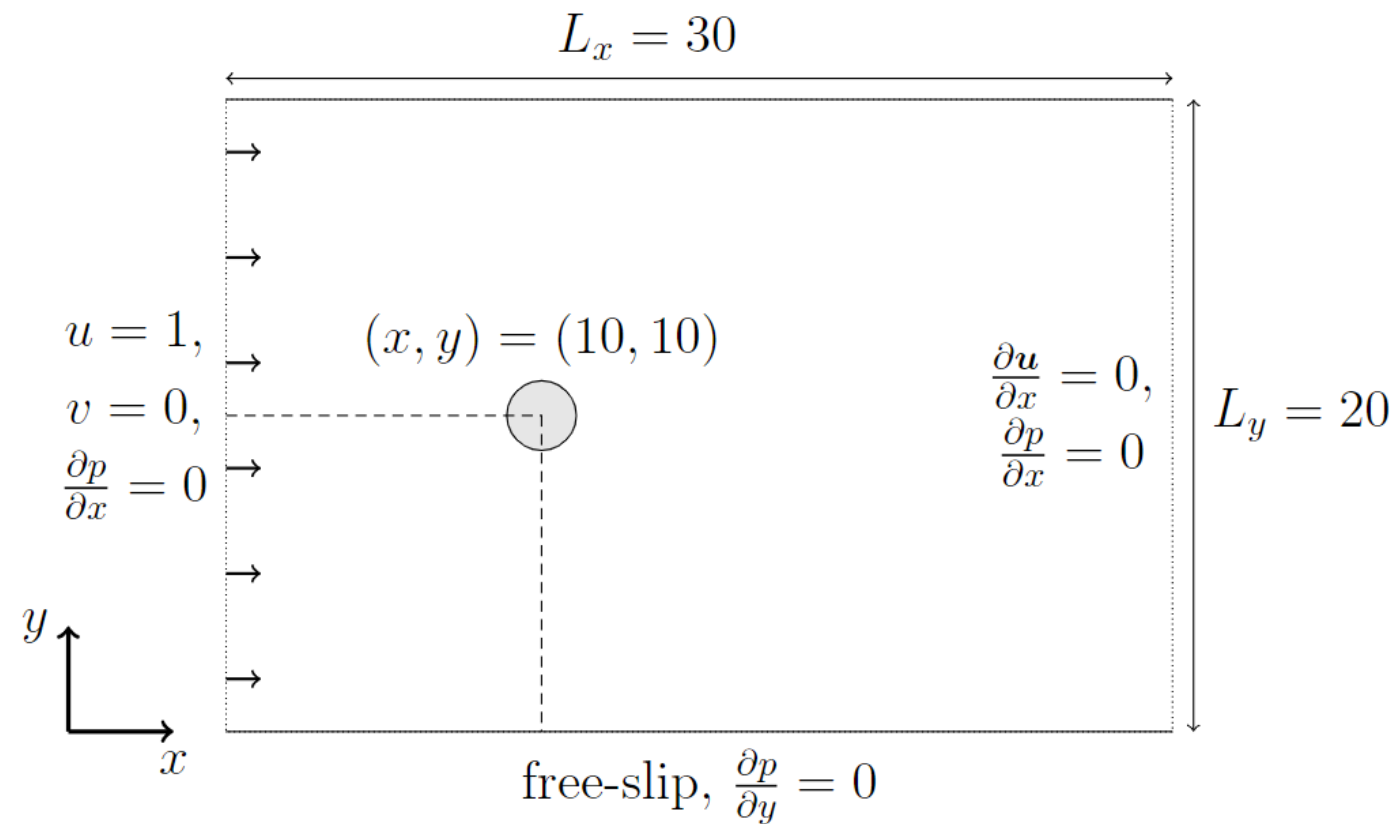


• 2次元で実装(有限差分法)

• 計算条件

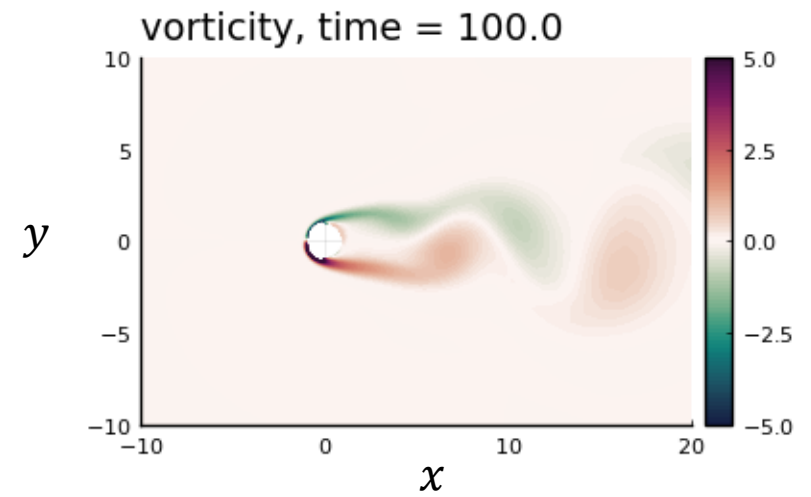
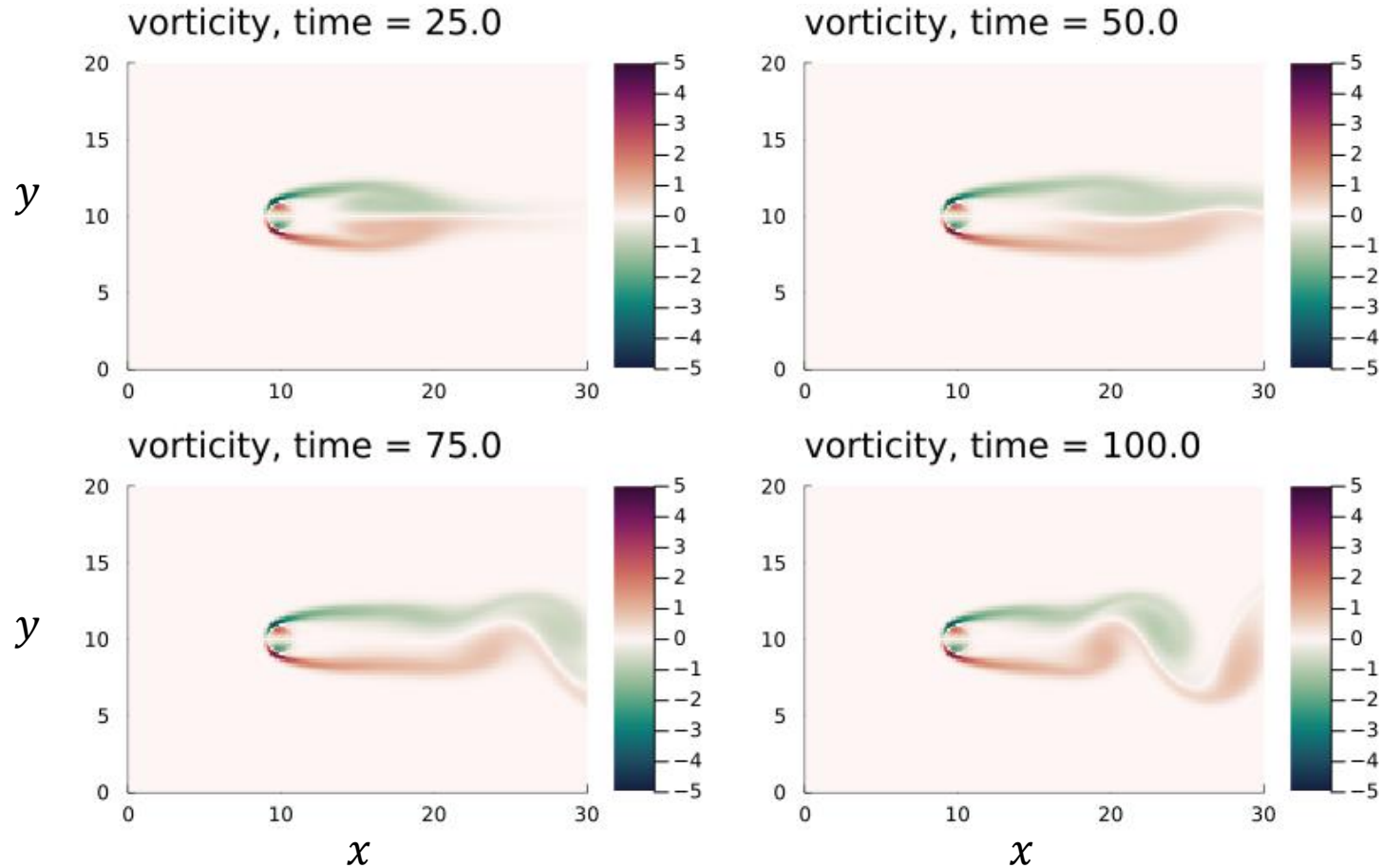
- $L_x = 30, L_y = 20,$
- $n_x = 64 \times 3, n_y = 64 \times 2$
- $dx = dy = 10/64$
- $Re = 100$
- 左側境界から流入
- 初期条件： $u = 1, v$ に微小な擾乱
- $x = y = 10$ に半径1の円形の固体
- 空間離散化：Arakawa C grid
 - 移流項：5次 WENO、その他：2次の中心差分
- 時間発展：SSP-RK3
- IBMでの外力：

$$\mathbf{u}_{ib} = \sum_{i,j} \mathbf{u}_{i,j} \delta(\mathbf{x}_{i,j} - \mathbf{x}_w)$$
$$\mathbf{f}_{ib} = \frac{1}{\Delta t} (\mathbf{u}_w - \mathbf{u}_{ib})$$
$$\mathbf{F}_{i,j} = \sum_{n=1}^N (\mathbf{f}_{ib})_n \delta(\mathbf{x}_{i,j} - (\mathbf{x}_w)_n)$$



$$\delta(\mathbf{x}_{i,j} - \mathbf{x}_w) = D\left(\frac{x_i - x_w}{dx}\right) D\left(\frac{y_j - y_w}{dy}\right)$$
$$D(r) \equiv \begin{cases} \frac{1}{8} (3 - 2|r| + \sqrt{1 + 4|r| - 4r^2}) & 0 \leq |r| < 1, \\ \frac{1}{8} (5 - 2|r| - \sqrt{-7 + 12|r| - 4r^2}) & 1 \leq |r| < 2, \\ 0 & 2 \leq |r| \end{cases}$$

計算結果

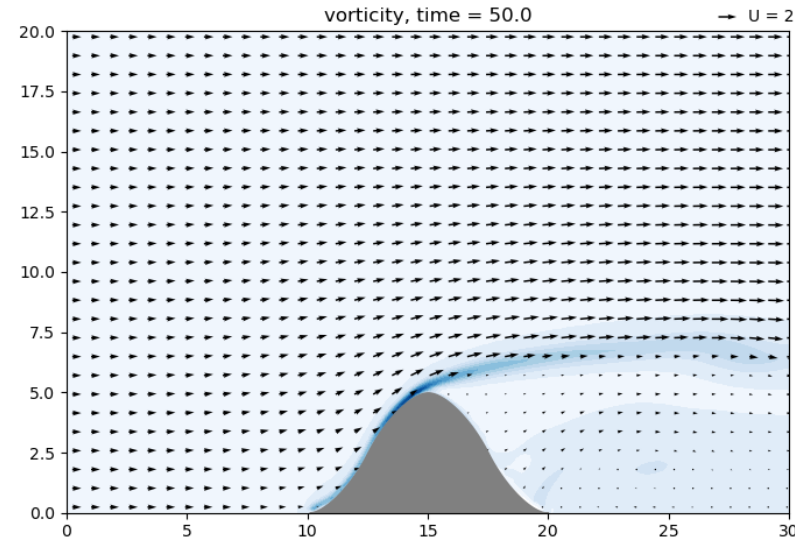
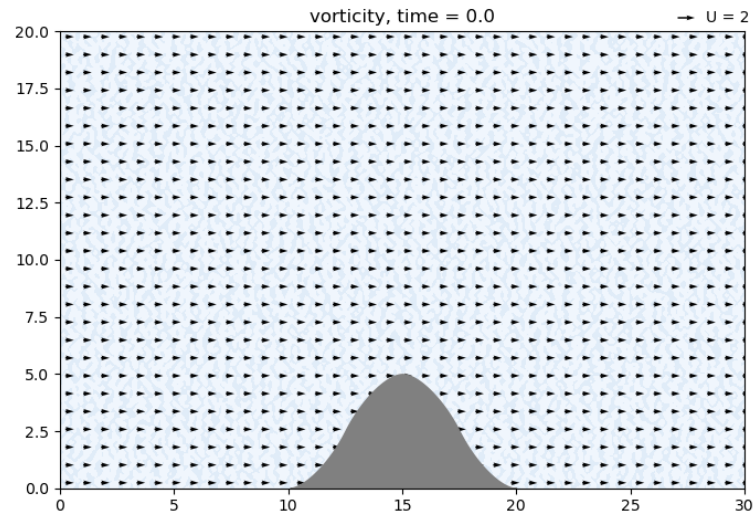


↑ 極座標変換して計算した結果(渦度)

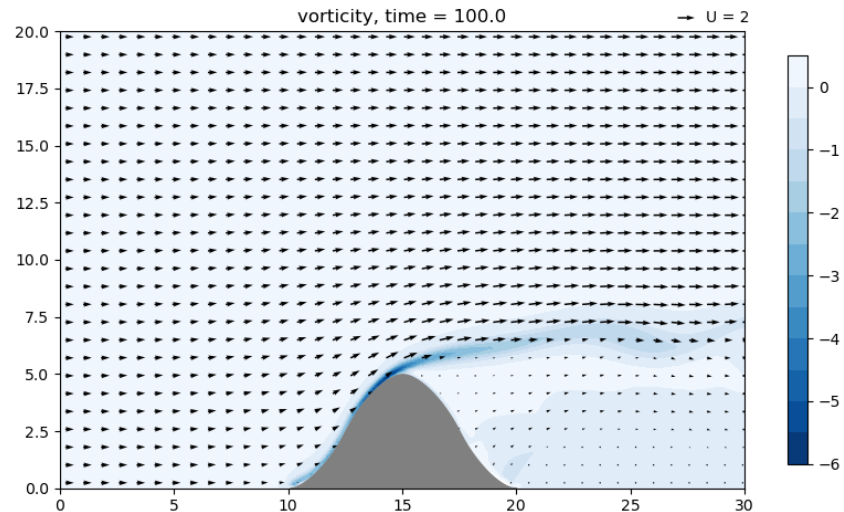
← IBMで計算した結果(渦度)

- カルマン渦列が見られる
- 極座標変換して計算したものと大まかに似た構造
→ 埋め込み境界法である程度は計算できている？
- 定量的な評価も必要 (今後)

山越えを想定した計算



←t=0,50,100の
渦度(色)と
流速場(矢印)



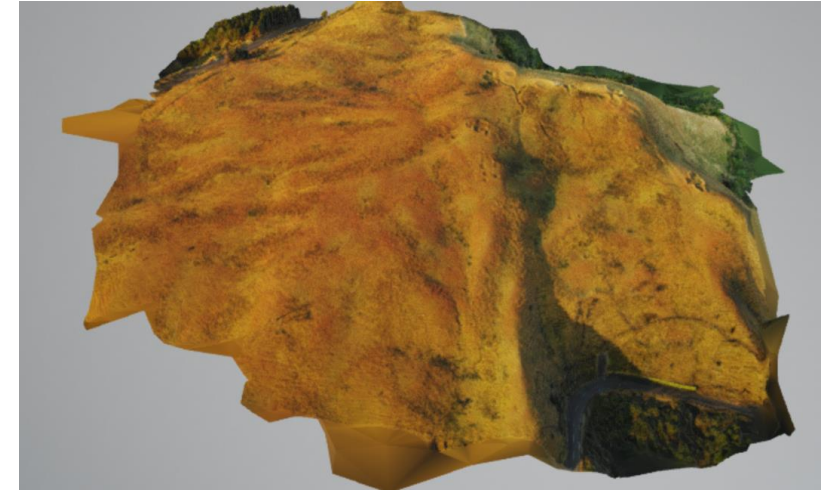
- 山のような固体境界の形状を与えて実験
- 障害物を回り込む流れが再現
- 風下側で渦が見られる

まとめ

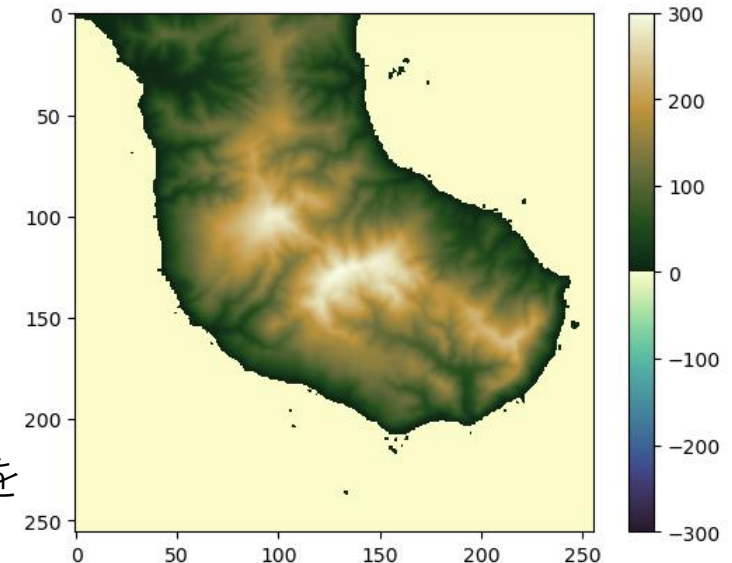
- 埋め込み境界法で構造物まわりの流れの計算を行なった
- 境界を反映した結果が得られた
- モデルの妥当性の定量的な検証が必要

課題

- 3次元化・実際の地形データでの計算
 - ドローンで取得した都井岬の地形データ
 - 国土地理院のデータ
- 温度場・水蒸気場の導入…移流拡散方程式を解く？
 - 益丸海岸での観測結果と比較できたら面白そう
- 境界条件：no-slip or free-slip?
- さらなる解析
- ほかの座標系の結果と比較



↑ ドローンで取得した都井岬の地形



都井岬周辺の標高→
(国土地理院標高タイルを
加工して作成)