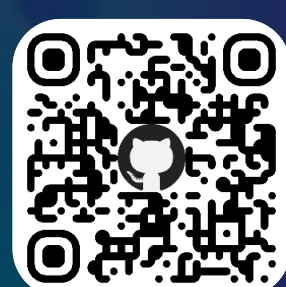




# 후쿠시마 방사능 방류량 예측 모델 제작



Github

<https://github.com/hwan809/ocean-ict>  
저희의 자세한 탐구 과정을 확인하실 수 있어요!

기상청상위호환  
1105 김한 1118 임건택

(index는 0번부터)

## #00\_프로젝트\_소개

최근 일본 정부의 후쿠시마 원전 '오염수 방류' 계획 발표로 인해 여러 정치적/과학적 논란이 생겨나고 있다. 따라서 우리는 오염수가 방류되었을 때의 방사능 **농도 변화를 정량적으로 예측**하고 이에 따른 부산 앞바다의 방사능 피해를 알아보고자 프로젝트를 시작하게 되었다.

## #01\_선행\_연구

초기 개발 당시, 우리는 과거 2011년 '**후쿠시마 원전 사고**'의 농도 예측을 시도했다. 이는 당시의 dataset을 사용하는 **머신러닝 회귀 문제**로 해결할 수 있었다.

5	310436	24.55285	216	37.62881	140.9393
6	310441	24.55285	207	37.62881	140.9393
7	310446	24.55285	203	37.62881	140.9393
8	310451	24.55285	199	37.62881	140.9393

\*Fig 1) Pre-processing이 끝난 dataset. 왼쪽부터 사건 발생부터 경과한 초(s), 거리(km), 농도(ppm), 위도, 경도이다.

<Japan Radiation Open Data> 에서 제공되는 원전 사고 전후 약 한 달 간의 방사능 농도 측정 데이터를 GBM<sup>[1]</sup>에 적합시키고, 각 변수의 중요도를 계산해 보았다.

```
print(r2_score(train_y, predict_train_y))
print(r2_score(test_y, predict_test_y))

print(f'model : {gradient_model.feature_importances_}')

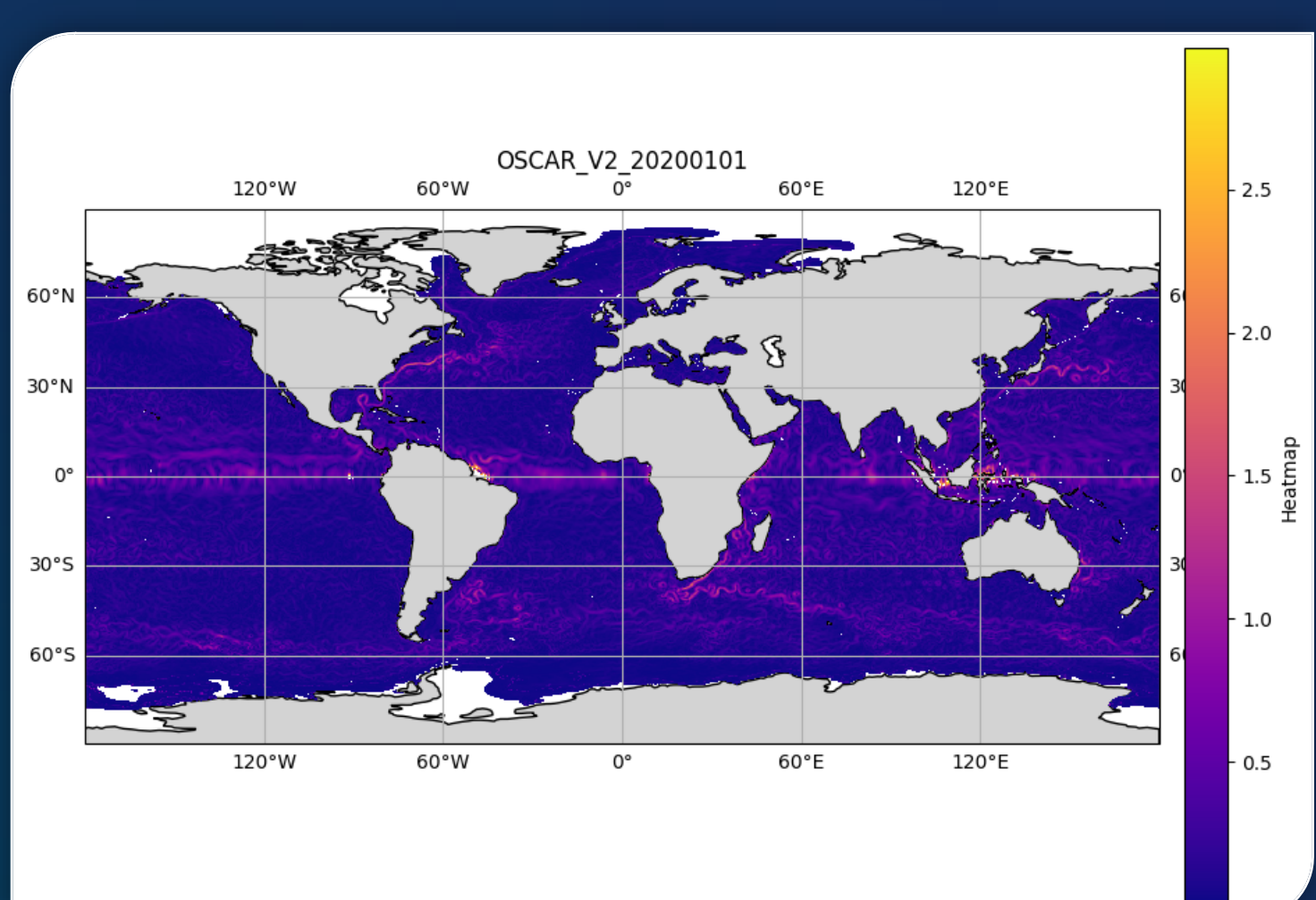
0.999532620686769
0.9972352973898958
model : [0.48843944 0.24461501 0.26694555]
```

\*Fig 2) 모델의 train/test dataset에서의 정확도, feature(왼쪽부터 초(s), 위도, 경도)의 중요도이다.

사건부터 경과한 시간이 가장 농도에 주요한 영향으로 작용하고, 위/경도는 비슷한 값을 가지는 것을 확인했다. 따라서 추후 동적인 모델에서는 시간 변화에 따라 학습시키기로 결정했다.

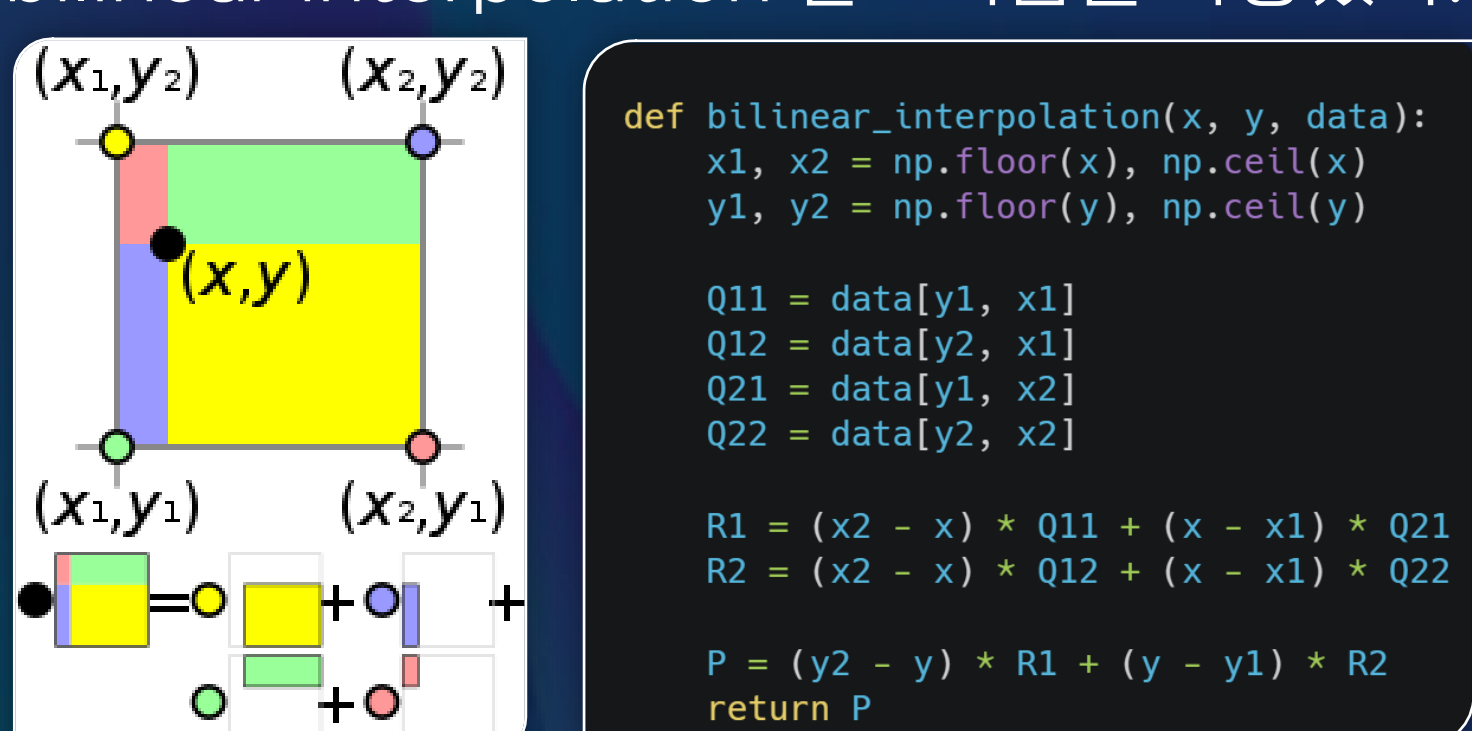
## #02-2\_해류

바다 내부에서 확산되므로 해류 역시 고려해 주어야 한다고 생각했다. 뗏목처럼 바다 위를 떠다니는 대상이 아니기에 <OSCAR<sup>[2]</sup> dataset>을 이용하여 **표층 내부 해류 데이터**를 얻었다.



\*Fig 5) OSCAR dataset의 velocity size를 colorbar 속성으로 지정해 matplotlib basemap 위에 그린 지도.

과정 중 격자의 크기와 주어진 해류 농도의 해상도가 달라 주어진 dataset을 "up-scaling"해 격자 크기와 동일하게 만들어 줄 수 있는 bilinear interpolation 알고리즘을 사용했다.



\*Fig 6) bilinear interpolation 알고리즘의 원리와 해류 데이터에 활용할 수 있게 구현한 함수.

각 격자에서의 해류 속도를 받아와서 확산과 같은 방식으로 농도를 이동시키되, 확산과 동시에 일어나서 예측 오류가 발생하지 않도록 **병렬적으로 처리**할 것이다.

## #02-3\_반감기

방사능 물질은 반감기라는 특징을 가진다. 1차 반응식을 이용하면 방사능 입자가 t초 후 존재할 확률을  $1 - e^{-kt}$  ( $k = \ln 2 / t_{1/2}$ )로 구할 수 있다.

```
self.decay_constant = math.log(2) / self.half_life

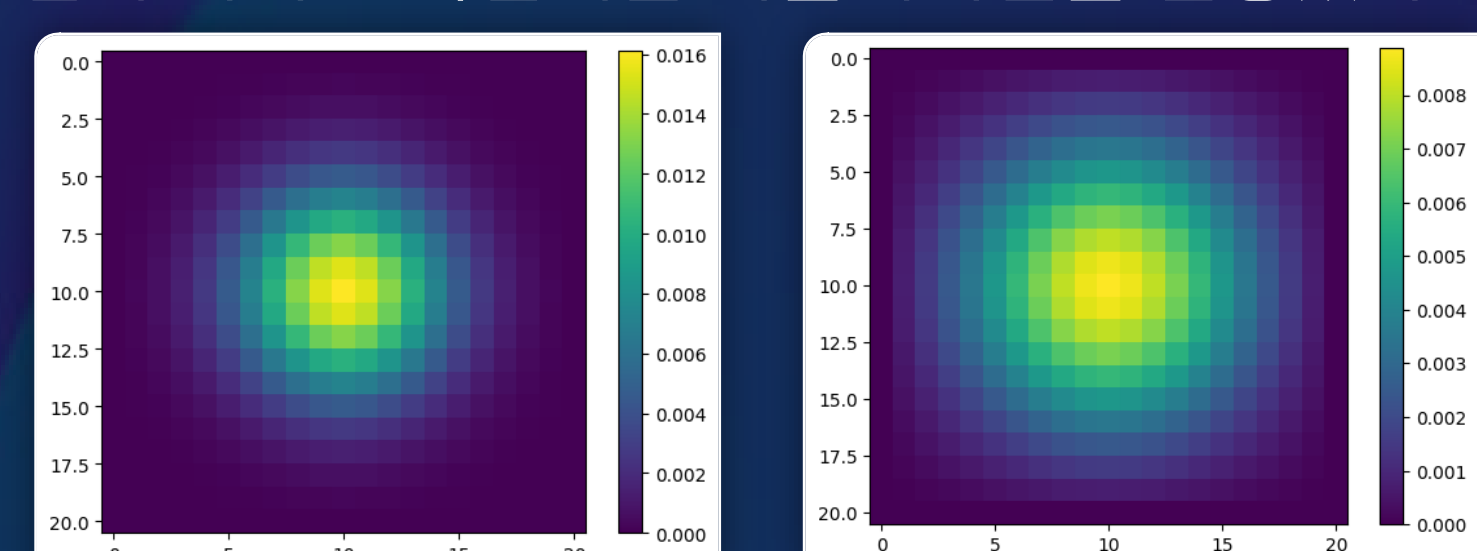
for i in range(self.grid_size):
    for j in range(self.grid_size):
        self.matrix[i, j] *= math.exp(-self.decay_constant * delta_t)
```

\*Fig 7) 특정 격자에서 단위 시간 당 줄어들어야 하는 방사능 물질의 농도를 반감기를 활용해 계산하는 코드.

따라서 시뮬레이션에서 시간이  $\Delta t$  만큼 지날 때마다 각 격자의 농도를 언급한 확률만큼 줄여 주어야 한다.

## #02-1\_확산

바다에 방류된 방사능 오염수는 농도에 따라 확산하기 마련이다. Fick's Law에 따라 단위시간 ( $\Delta t$ ) 당 확산되는 **입자의 양**은 그 지점에서의 **농도 기울기**( $\partial c / \partial x$ )와 비례한다. 이를 이용해 특정 격자에서부터 시작된 오염 물질의 농도가 점차 바다로 확산되는 시뮬레이션을 진행했다.



\*Fig 3) 중심 격자에 농도를 지정하고 "확산 계수"  $k = 0.02$  일 때 각각 tick=50, 100 시점의 결과.

시뮬레이션 하려는 범위의 영역 전체를 2차원 matrix로 생각할 수 있었다. 각 step마다 모든 칸에서 인접한 상하좌우 4칸의 농도 기울기를 계산해 농도를 이동시키는 방식으로 코딩했다.

```
def diffusion(self):
    new_matrix = self.matrix.copy()

    for i in range(1, self.grid_size - 1):
        for j in range(1, self.grid_size - 1):

            diffusion = (
                self.matrix[i + 1, j]
                + self.matrix[i - 1, j] = 상하좌우
                + self.matrix[i, j + 1] 격자 농도의
                + self.matrix[i, j - 1] 평균과 특정
                - 4 * self.matrix[i, j] 격자의 농도의 차
            )

            new_matrix[i, j] = (
                self.matrix[i, j] + self.k * diffusion
            )
            = 확산 계수만큼 농도 변화

            total_concentration = np.sum(new_matrix)
            new_matrix /= total_concentration

            self.matrix = new_matrix
```

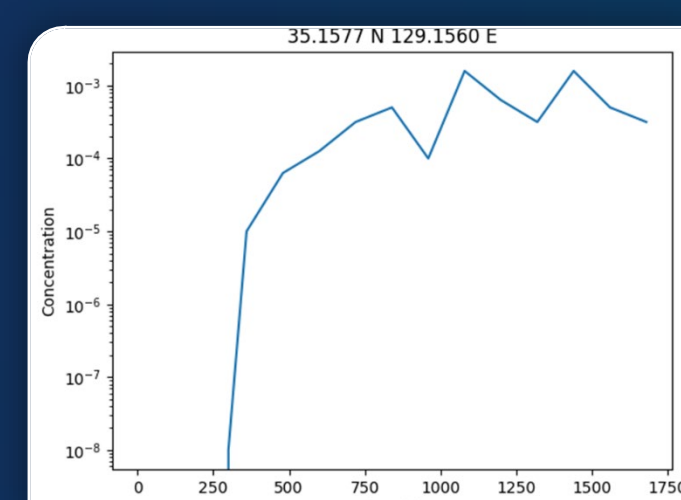
\*Fig 4) 모델 연산 함수 중 확산 코드.

## #03\_전체 모델

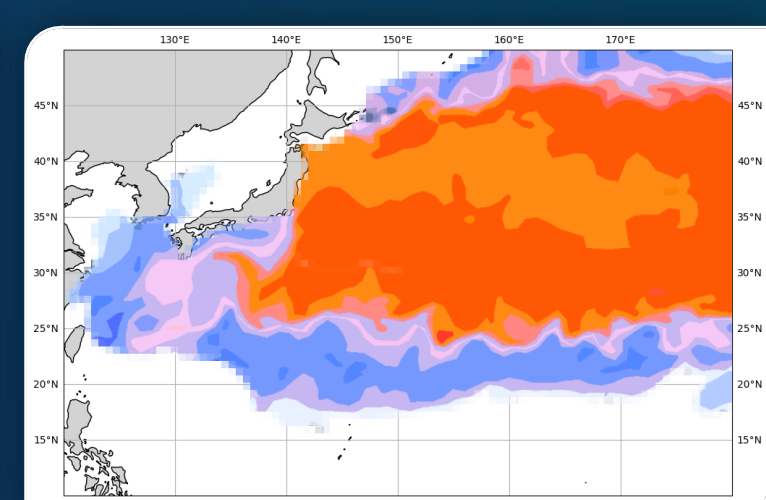
\* land-sea mask dataset을 활용, **대륙 위의 격자로 확산되지 않도록** 범위에서 배제.

\* 각 tick마다 변화하는 격자 상대량의 전체 총량이 변하지 않도록 정규화.

위 기능과 #02에서 만든 3가지 함수를 모두 적용해 전체 모델 class를 제작했다.



\*Fig 9) 해운대 앞 바다 임의의 위/경도의 삼중수소 농도 변화를 그린 그래프. (약 5년, log scale)



\*Fig 10) 한국, 일본 중심으로 삼중수소의 농도 변화를 그린 Heatmap. (t = 1y)

가장 널리 언급되고 있는 핵종인 **삼중수소**에 대해 우선적으로 시뮬레이션 했다.

<Fig 9>로부터 부산에는 **약 280일 이후에** 오염수가 유입됨을 알 수 있었다. 또한 **약 3년 후**부터는 해류에 의한 농도의 이동만 있을 뿐, 초기 농도의  $10^{-3}$ 배 주변에서 변함을 확인했다.

후쿠시마 오염수의 삼중수소 농도가 평균 620,000 Bq/L<sup>[3]</sup>이므로, 부산 앞바다의 삼중수소 농도 변화가 5년까지 약 **0.00029 Bq/L** 정도에서 머무를 것임을 계산할 수 있다. 이는 현재 국내 해역의 삼중수소 농도 **0.172 Bq/L**<sup>[4]</sup>에 비교해 미미한 변화임을 알 수 있다.

<Fig 10>로부터 초기 예상과 다르게 거리가 가까운 대한민국에 먼저 닿지 않고, 해류의 영향으로 **동쪽으로 확산이 먼저** 일어나는 모습을 확인할 수 있었다.

## #04\_결론

후쿠시마 방사능 오염수 방류로 인한 예측 모델을 제작해, 부산에 가해지는 방사능 변화 정도, 그 중에서 삼중수소 농도 변화에 대해 예측했다.

확산 모델로 계산된 삼중수소 농도 변화는 미미했으나, 다른 핵종에 대한 시뮬레이션이나 그에 따른 생태계 변화에 대한 후속 연구가 부족하므로 위험성을 판단하는 것은 무리가 있다고 생각한다.

추가로 농도 격자가 아닌 방사능 입자 각각을 이동시켜 정밀한 시뮬레이션을 진행하고 싶다.

\* [1] Gradient Boosting Model. 성능이 좋고 해석이 쉬운 앙상블 모델이다.  
\* [2] Ocean Surface Current Analysis Real-Time  
\* [3] 베크렐. 방사능의 강도를 나타내는 단위로 단위 시간(1초간) 원자핵이 붕괴하는 수를 나타낸다.  
\* [4] 2021년 국내해역 평균 삼중수소 농도