

# 측정·평가 대상 핵종의 재검토에 따른 방사선 환경 영향 평가(건설단계\*)의 재평가 결과에 관하여

2023년 2월 14일

**TEPCO**

도쿄 전력 홀딩스 주식회사

\*이 보고서의 평가는 해양 방출에 관한 계획의 설계·운영에 관련 검토의 진척, 각 방면에서 주신 의견, IAEA 전문가의 리뷰, 제3자 평가에 의한 크로스 체크 등으로 얻을 수 있는 지식의 확충을 통해 적절히 재검토해 나가는 것이다.

# 개요

- 2022년 4월에 'ALPS 처리수의 해양 방출과 관련된 방사선 영향평가 결과(설계단계·개정판)'를 공표한 후 당사의 검토나 공사의 진척상황, IAEA의 리뷰와 원자력규제위원회와의 논의 등을 바탕으로 2022년 11월에 평가의 일부를 재검토
- 2022년 11월의 평가에서는 ALPS 처리수의 해양 방출 시에 실시하는 측정·평가 대상 핵종으로 30개 핵종을 선정한 것을 바탕으로 방사선원(소스텀)의 재검토를 실시
- 이후 원자력규제청의 기술 회의에서 논의된 내용을 바탕으로 측정·평가 대상 핵종의 선정 방침의 일부가 변경됨에 따라 측정·평가 대상 핵종도 29개 핵종으로 변경되었기 때문에 재평가를 실시함. 참고로 29개 핵종으로의 변경에 대해서는 IAEA로부터 평가(리뷰)를 받았음  
(측정·평가 대상 핵종 선정 방침에 대한 상세 내용에 대하여 'ALPS처리수의 취급에 대한 실시 계획 변경 인가 신청서의 일부 보정【개요】 참고)
- 또한 이번 평가에서는, 측정·평가 대상 핵종 선정 시에 원전 사고 후 12년이 되는 2023년 3월 시점의 인벤토리를 이용한 것을 바탕으로 2023년 3월 시점의 농도가 되도록 방사선원 핵종 조성의 감쇠 보정을 실시하였음
- 아울러 2022년 11월 IAEA 리뷰에서 지적이 있었던 사항에 대해서도 반영함
- 방사선 환경 영향 평가의 결과, 선량 평가치가 일반인의 선량 한도나 선량 구속치, 국제 기관이 제시하는 생물 종 별 규정 수치를 크게 밑돈다는 결론은 변하지 않음
  - 사람에게 대한 선량 평가치는 설계 단계의 평가와 비교하여 1/40~1/2 정도
  - 자연 환경에 대한 선량 평가치는 설계 단계의 평가와 비교하여 1/100~1/30 정도

# 이번 평가에 대하여

- 정부의 '기본방침'에 입각하여 당사가 검토한 설비 설계와 운용에 따라 처리수의 해양 방출을 실시했을 경우의 사람 및 환경에 미치는 방사선의 영향에 대하여 국제적으로 인지되어 있는 방법 (국제원자력기구 (IAEA) 안전 기준 문서, 국제방사선방호위원회(ICRP)의 권고)에 따라 평가 방법을 규정하였습니다.
- 이에 따라 피폭 선량을 평가했을 때 선량 한도, 선량 목표치, 국제 기구가 제시하는 생물종별 지정 기준치를 크게 밑도는 결과가 나와 사람 및 환경에 미치는 영향이 극히 경미한 것으로 밝혀졌습니다.
- 앞으로도 원자력규제위원회에 의한 실시 계획 인가 취득을 위해 필요한 절차를 진행하는 동시에 해양 방출을 개시한 후에도 IAEA 전문가의 리뷰와 각 방면에서 주신 의견이나 리뷰 등을 통하여 필요에 따라 본 평가를 재검토해 나가도록 하겠습니다.
- 또한 일본 국내와 해외에 계신 여러분의 염려를 덜고 처리수의 해양 방출에 대한 이해를 높이기 위하여 사람 및 환경에 미치는 방사선의 영향에 관한 과학적인 정보를 투명하게 공개하고 계속해서 알려 나가겠습니다.

도쿄전력은 국내외 일반인 여러분과 생활 환경의 안전을 확보하기 위하여 방출수 안에 포함된 삼중수소 및 기타 방사성 물질의 농도에 관해 국제 표준 (IAEA 안전 기준 문서나 ICRP 권고)에 준거하는 일본의 규제 기준과 각종 법령 등을 엄수합니다.

1. 평가의 전제가 되는 방출 방법
2. 평가 방법
3. 평가 결과
4. 참고

# 평가의 전제가 되는 방출 방법

- 방출 전에 ALPS 처리수 해양 방출 시 측정·평가 대상인 29개 핵종과 삼중수소에 대한 측정·평가(제3자 기관에 의한 측정·평가 포함)를 실시하여 삼중수소를 제외한 핵종의 고시 농도비 총계\*가 1미만이 될 때까지 정화되었는지 확인한다.
- 삼중수소의 연간 방출량은 원전 사고 전 후쿠시마 제1원자력 발전소의 방출 관리 목표치인 22조Bq(벵크렐) 미만으로 한다.
- 방출에 있어 해수를 이용해 100배 이상 희석해 배출구에서의 삼중수소 농도가 리터 당 1,500Bq(벵크렐) 미만이 되도록 한다. 이에 따라 삼중수소를 제외한 핵종의 고시 농도비 총계 또한 100분의 1 미만으로 희석된다.
- 희석한 ALPS 처리수는 방출수가 희석용 해수로 다시 취수되지 않도록 하기 위하여 발전소 앞바다 약 1km 해저에서 방출한다.
- ALPS처리수의 방출로 인하여 이상이 발생한 경우에는 긴급 차단 밸브를 신속하게 잠금과 동시에 ALPS 처리수의 이송 펌프를 정지시켜 방출을 중단한다.

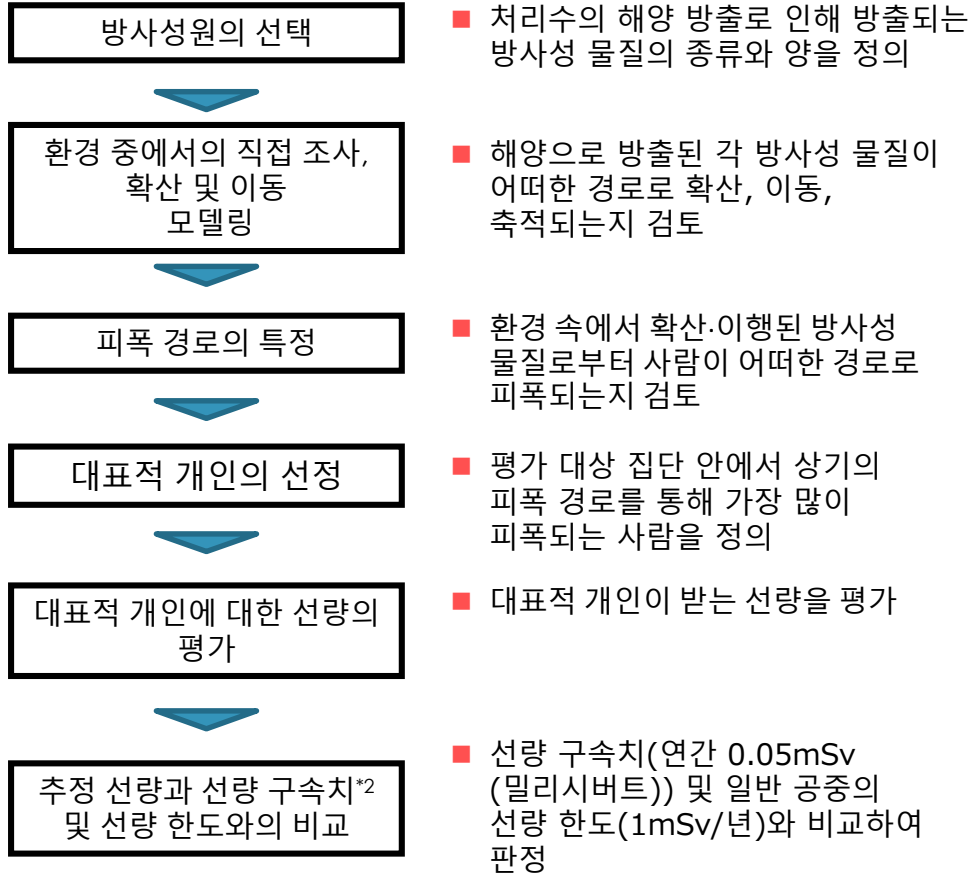
\*고시 농도비 총계: 배수 안에 여러 종류의 방사성 물질이 포함되는 경우, 각 핵종 농도의 법령상 한도에 대한 비율을 구한 후 이를 합한 것. 후쿠시마 제1원자력 발전소에서는 배수구에서의 고시 농도비 총계가 1을 초과해서는 안 된다고 법령으로 규정되어 있다. 이번에 계획 중인 해양 방출도 삼중수소를 제외한 방사성 물질은 희석·방출 전에 고시 농도비 총계가 1 미만이 되도록 ALPS 등으로 처리하며, 삼중수소는 농도가 고시 농도(리터 당 60,000Bq 미만)의 40분의 1 수준(리터 당 1500Bq)이 될 때까지 100배 이상의 해수로 희석한다. 이에 따라 삼중수소를 제외한 방사성 물질의 농도는 고시 농도를 훨씬 밑돌게 된다.

1. 평가의 전제가 되는 방출 방법
- 2. 평가 방법**
3. 평가 결과
4. 참고

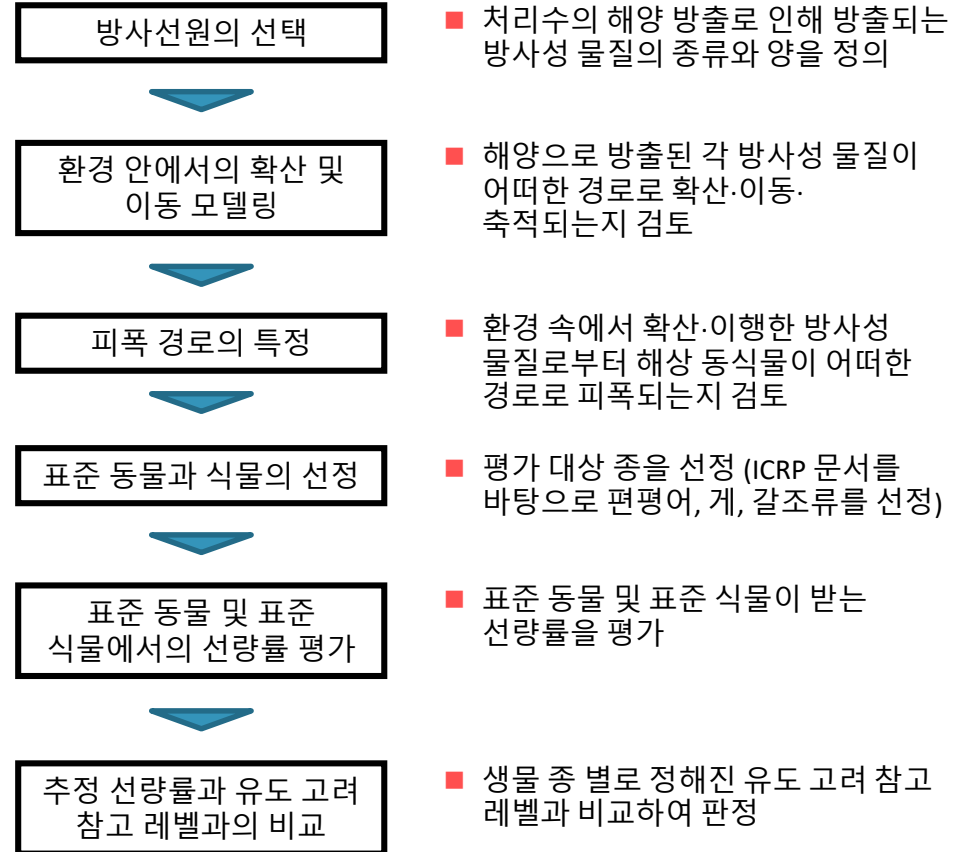
# 방사선 환경 영향 평가의 절차

국제 원자력 기구(IAEA)의 안전 기준 문서\*1에 따라 아래와 같은 절차를 통해 평가하였습니다.

## 사람에 대한 평가



## 환경 방호(사람 이외의 생물)에 관한 평가



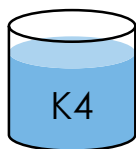
\*1 IAEA GSG-9 "Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment"

IAEA GSG-10 "Prospective Radiological Environmental Impact Assessment for Facilities and Activities"

\*2 선량 구속치: 선량한도에 도달하기 전에 방사선 작업 또는 시설을 책임지는 사람의 방호 안전을 최적화하기 위해 규정한 수치. 후쿠시마 제1원자력 발전소에서는 2022년 2월 16일에 원자력규제위원회로부터 원자력 발전소의 선량목표치(연간 0.05mSv)가 IAEA 안전기준에서의 선량구속치에 상당한다는 견해가 제시되었다.

# 방사선원 (방출되는 방사선 물질의 종류와 양) 의 선정

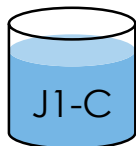
- 보다 현실적으로 상정하기 위하여, 실제 ALPS 처리수 중 분석·평가 대상 핵종의 실측치가 거의 비슷한 3개 탱크군의 물이 각각 해수로 희석된 후 방출 기간 내내 계속 방출된다고 가정
- 2022년 12월 열린 원자력규제청 기술 회의에서의 논의를 바탕으로 선정한 측정·평가 대상 핵종 (29개 핵종)을 토대로 방사선원으로 삼중수소를 포함한 30개 핵종을 선정
- 탱크군별 측정 실적이 없는 핵종에 대해서는 다른 탱크 등의 데이터를 이용하여 평가
- 지금까지 검출된 적이 없는 방사성 물질에 대해서도 검출하한치 농도로 함유되어 있다고 가정
- 원전 사고 후 12년이 되는 2023년 3월 시점으로 각 탱크군의 핵종 농도의 반감기를 보정



## i. K4 탱크군

삼중수소 농도: 약 리터 당 14만Bq

삼중수소를 제외한 29개 핵종의 고시 농도비 총계\*: 0.26



## ii. J1-C 탱크군

삼중수소 농도: 약 리터 당 72만Bq

삼중수소를 제외한 29개 핵종의 고시 농도비 총계: 0.21



## iii. J1-G 탱크군

삼중수소 농도: 약 리터 당 24만Bq

삼중수소를 제외한 29개 핵종의 고시 농도비 총계: 0.10

### 어느 경우든

- 연간 삼중수소 방출량은 22조Bq 범위에서 방출한다
- 희석 후 삼중수소 농도가 리터 당 1,500Bq 미만이 되도록 희석한다

라는 것을 전제로 하고 있습니다.

\*고시 농도비 총계: 배수 안에 여러 종류의 방사성 물질이 포함되는 경우, 각 핵종 농도의 법령상 한도에 대한 비율을 구한 후 이를 합한 것. 후쿠시마 제1원자력 발전소에서는 배수구에서의 고시 농도비 총계가 1을 초과해서는 안 된다고 법령으로 규정되어 있다. 이번에 계획 중인 해양 방출도 삼중수소를 제외한 방사성 물질은 희석·방출 전에 고시 농도비 총계가 1 미만이 되도록 ALPS 등으로 처리하며, 삼중수소는 농도가 고시 농도(리터 당 60,000Bq 미만)의 40분의 1 수준(리터 당 1500Bq)이 될 때까지 100배 이상의 해수로 희석한다. 이에 따라 삼중수소를 제외한 방사성 물질의 농도는 고시 농도를 훨씬 밑돌게 된다.



# [참고]ALPS 제거 대상 핵종(62개 핵종), 탄소 14와의 비교 **TEPCO**

- 2022년 7월 인가 이후 이번 보정 신청 때까지 변경 된 핵종은 아래와 같음
- ALPS 제거 대상 핵종 중 측정·평가 대상 핵종으로 선정되지 않은 핵종에 대해서도 ALPS의 제거 성능을 확인하기 위해 당사가 계속하여 자체적인 측정을 실시함

## 측정·평가 대상 핵종 : 29개 핵종 (=24+5)

※ : 아래 표의 핵종 외에 삼중수소도 측정

C-14 탄소	Y-90 이트륨	Cs-137 세슘	U-238 우라늄	Cm-244 퀴륨
Mn-54 망가니즈	Tc-99 테크네튬	Ce-144 세륨	Np-237 넵투늄	
Fe-55 철	Ru-106 루테튬	Pm-147 프로메튬	Pu-238 플로토늄	
Co-60 코발트	Sb-125 안티모니	Sm-151 사마륨	Pu-239 플로토늄	
Ni-63 니켈	Te-125m 텔루륨	Eu-154 유로퓸	Pu-240 플로토늄	
Se-79 셀레늄	I-129 요오드	Eu-155 유로퓸	Pu-241 플로토늄	
Sr-90 스트론튬	Cs-134 세슘	U-234 우라늄	Am-241 아메리슘	

## ALPS 제거 대상 핵종 측정·평가 대상 핵종에서 선정 외로 분류된 핵종 : 39개 핵종 (=13+10+16)

Fe-59 철	Te-129m 텔루륨	Co-58 코발트	Te-123m 텔루륨	Zn-65 아연	Ba-137m 바륨	Cm-242 퀴륨
Rb-86 루비듐	Cs-136 세슘	Y-91 이트륨	Te-127 텔루륨	Rh-106 로듐	Pr-144 프라세오디뮴	Cm-243 퀴륨
Sr-89 스트론튬	Ba-140 바륨	Nb-95 나이오븀	Te-127m 텔루륨	Ag-110m 은	Pr-144m 프라세오디뮴	
Ru-103 루테튬	Ce-141 세륨	Sn-123 주석	Gd-153 가돌리늄	Cd-113m 카드뮴	Pm-146 프로메튬	
Rh-103m 로듐	Pm-148 프로메튬	Sb-124 안티모니	Tb-160 터븀	Sn-119m 주석	Eu-152 유로퓸	
Cd-115m 카드뮴	Pm-148m 프로메튬			Sn-126 주석	Am-242m 아메리슘	
Te-129 텔루륨				Cs-135 세슘	Am-243 아메리슘	

■ : 선정 순서도에 따라 만일을 대비하여 추가한 핵종 (5개 핵종)

- : 인벤토리 양이 감소하여 순서1에서 선정 외로 분류된 핵종 (13개 핵종)
  - : 인벤토리 양이 감소하여 순서3에서 선정 외로 분류된 핵종 (10개 핵종)
  - : 원자로 등에서 오염수로의 이행 상태를 실태에 맞게 재검토한 결과, 순서4,5에서 선정 외로 분류된 핵종 (16개 핵종)
- } 해당하는 핵종의 반감기 1년 미만

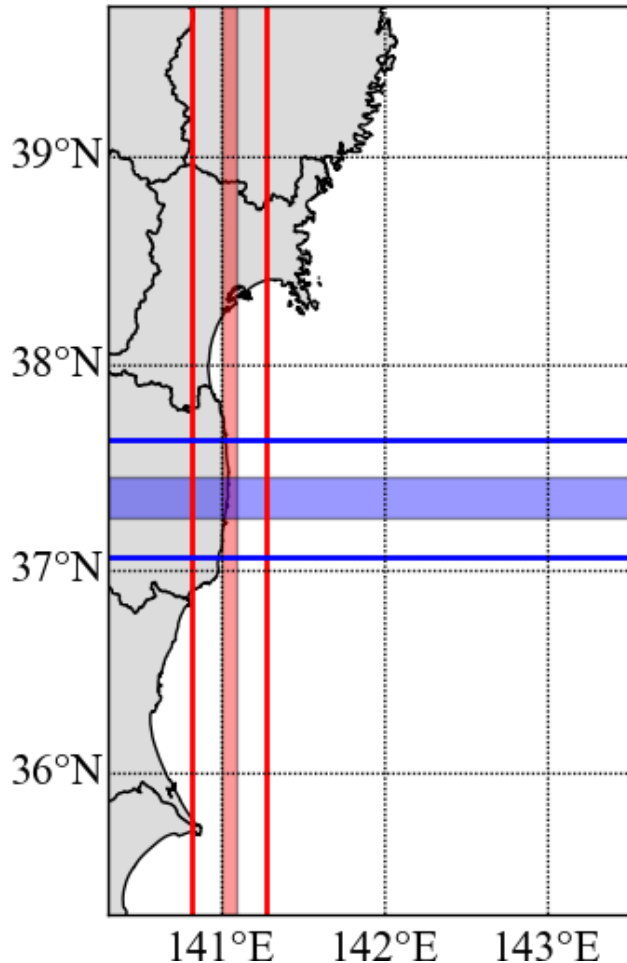
# [참고] 평가에 사용한 탱크군의 측정·평가 대상 핵종과 농도 **TEPCO**

■ 원전 사고 후 12년째가 되는 2023년 3월에 전 핵종의 농도의 반감기 보정을 실시하였음

	대상 핵종	고시농도한도 (Bq/ℓ)	K 4 탱크군의 방사선원		J1-C 탱크군의 방사선원		J1-G 탱크군의 방사선원	
			처리수농도 (Bq/ℓ)	고시농도비	처리수농도 (Bq/ℓ)	고시농도비	처리수농도 (Bq/ℓ)	고시농도비
1	H-3	6.0E+04	1.4E+05		7.2E+05		2.4E+05	
2	C-14	2.0E+03	1.5E+01	7.5E-03	1.8E+01	9.0E-03	1.6E+01	8.0E-03
3	Mn-54	1.0E+03	8.5E-05	8.5E-08	5.3E-03	5.3E-06	5.4E-03	5.4E-06
4	Fe-55	2.0E+03	2.1E+00	1.1E-03	2.4E+00	1.2E-03	2.4E+00	1.2E-03
5	Co-60	2.0E+02	2.2E-01	1.1E-03	2.4E-01	1.2E-03	1.7E-01	8.5E-04
6	Ni-63	6.0E+03	2.1E+00	3.5E-04	8.3E+00	1.4E-03	8.7E+00	1.5E-03
7	Se-79	2.0E+02	1.5E+00	7.5E-03	1.5E+00	7.5E-03	1.5E+00	7.5E-03
8	Sr-90	3.0E+01	1.9E-01	6.3E-03	3.4E-02	1.1E-03	3.0E-02	1.0E-03
9	Y-90	3.0E+02	1.9E-01	6.3E-04	3.4E-02	1.1E-04	3.0E-02	1.0E-04
10	Tc-99	1.0E+03	7.0E-01	7.0E-04	1.2E+00	1.2E-03	1.3E+00	1.3E-03
11	Ru-106	1.0E+02	4.2E-02	4.2E-04	2.7E-01	2.7E-03	9.4E-02	9.4E-04
12	Sb-125	8.0E+02	8.6E-02	1.1E-04	1.2E-01	1.5E-04	7.5E-02	9.4E-05
13	Te-125m	9.0E+02	8.6E-02	9.6E-05	1.2E-01	1.3E-04	7.5E-02	8.3E-05
14	I-129	9.0E+00	2.1E+00	2.3E-01	1.2E+00	1.3E-01	3.3E-01	3.7E-02
15	Cs-134	6.0E+01	7.4E-03	1.2E-04	3.3E-02	5.5E-04	3.0E-02	5.0E-04
16	Cs-137	9.0E+01	3.7E-01	4.1E-03	1.7E-01	1.9E-03	3.1E-01	3.4E-03
17	Ce-144	2.0E+02	5.3E-04	2.7E-06	6.4E-02	3.2E-04	6.5E-02	3.3E-04
18	Pm-147	3.0E+03	4.5E-02	1.5E-05	4.2E-01	1.4E-04	3.8E-01	1.3E-04
19	Sm-151	8.0E+03	8.6E-04	1.1E-07	1.1E-02	1.4E-06	9.8E-03	1.2E-06
20	Eu-154	4.0E+02	7.8E-03	2.0E-05	9.4E-02	2.4E-04	8.4E-02	2.1E-04
21	Eu-155	3.0E+03	1.5E-02	5.0E-06	2.4E-01	8.0E-05	1.2E-01	4.0E-05
22	U-234	2.0E+01	6.3E-04	3.2E-05	3.2E-02	1.6E-03	2.8E-02	1.4E-03
23	U-238	2.0E+01	6.3E-04	3.2E-05	3.2E-02	1.6E-03	2.8E-02	1.4E-03
24	Np-237	9.0E+00	6.3E-04	7.0E-05	3.2E-02	3.6E-03	2.8E-02	3.1E-03
25	Pu-238	4.0E+00	6.0E-04	1.5E-04	3.2E-02	8.0E-03	2.7E-02	6.8E-03
26	Pu-239	4.0E+00	6.3E-04	1.6E-04	3.2E-02	8.0E-03	2.8E-02	7.0E-03
27	Pu-240	4.0E+00	6.3E-04	1.6E-04	3.2E-02	8.0E-03	2.8E-02	7.0E-03
28	Pu-241	2.0E+02	2.2E-02	1.1E-04	1.1E+00	5.5E-03	8.9E-01	4.5E-03
29	Am-241	5.0E+00	6.2E-04	1.2E-04	3.2E-02	6.4E-03	2.8E-02	5.6E-03
30	Cm-244	7.0E+00	5.1E-04	7.3E-05	3.0E-02	4.3E-03	2.6E-02	3.7E-03
			고시농도비 총계	2.6E-01	고시농도비 총계	2.1E-01	고시농도비 총계	1.0E-01

# 환경 중에서의 확산·이행 (해역에서의 확산 계산)

후쿠시마 제 1원자력발전소 사고 후의 해수 중 세슘 농도의 재현 계산을 통해 재현성이 확인된 모델을 사용. 나아가 발전소 근방 해역을 상세하게 시뮬레이션 할 수 있도록 고해상도화하여 계산.



- 영역 해양 모델 (Regional Ocean Modeling System: ROMS)을 후쿠시마 앞바다에 적용
- 해역의 유동 데이터
  - 바다 표면의 구동력에 기상청 단기 기상 예측 데이터를 삽입한 데이터<sup>[1]</sup>를 사용
  - 외양의 경계조건 및 데이터 동화\*의 원래 데이터로서 해양의 재해석 데이터(JCOPE2<sup>[2]</sup>)를 사용
- 모델 범위: 북위 35.30~39.71도, 동경 140.30~143.50 도 (490km×270km, 발전소 주변 남북 약 22.5km×동서 약 8.4km의 해역을 단계적으로 고해상도화
  - 해상도 (전체): 남북 약 925m x 동서 약 735m (약1km), 연직방향 30층
  - 해상도 (근방): 남북 약 185m x 동서 약 147m (약200m), 연직방향 30층 (왼쪽 지도의 빨간색과 파란색의 해치가 교차하는 해역)
- 기상·해양 데이터
  - 2014년 및 2019년 2년분 실시

\*데이터 동화: 수치 시뮬레이션에 실측 데이터를 도입하는 기법으로, 너징이라고도 한다.

[1]하시모토 아쓰시, 히라구치 히로마루, 도요타 야스시, 나카야 고. 『온난화에 따른 일본의 기후변화 예측(1) -기상 예측·해석 시스템 NuWFAS의 장기 기후 예측에의 적용-』 전력 중앙연구소 보고, 2010.

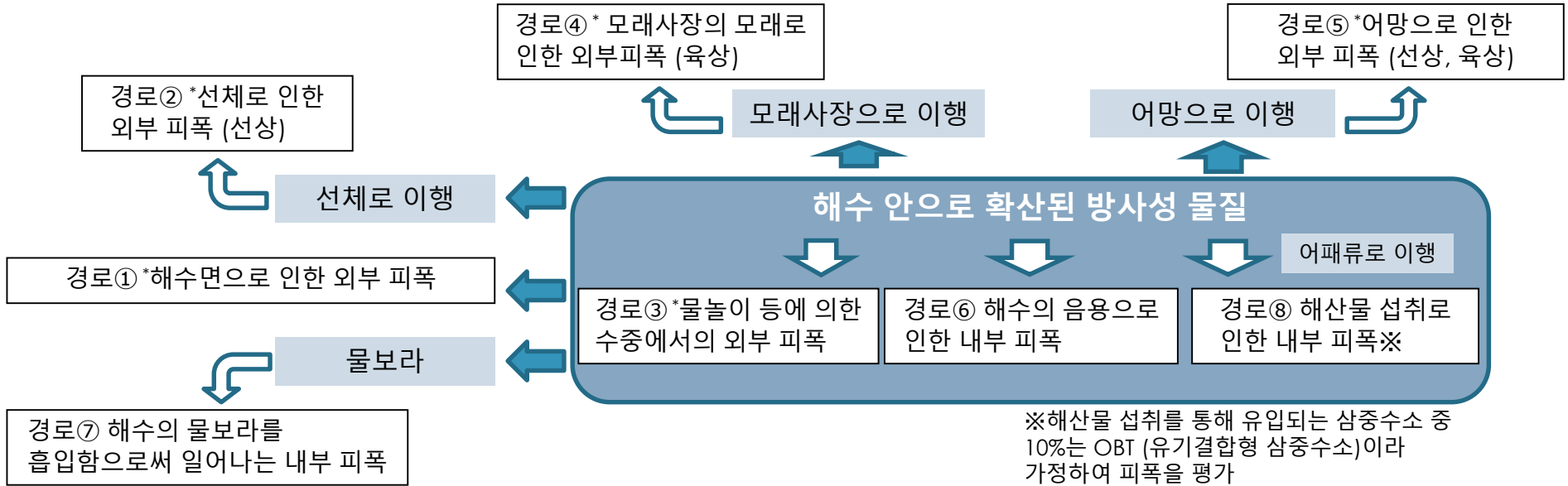
[2] Y.Miyazawa, R.Zhang, X.Guo, H.Tamura, D.Ambe, J.-S.Lee, A.Okuno, H.Yoshinari, T.Setou, and K.Komatsu,, "Water mass variability in the western North Pacific detected in a 15-year eddy resolving ocean reanalysis," 2009.

# 피폭 경로의 특정 (평가 모델)

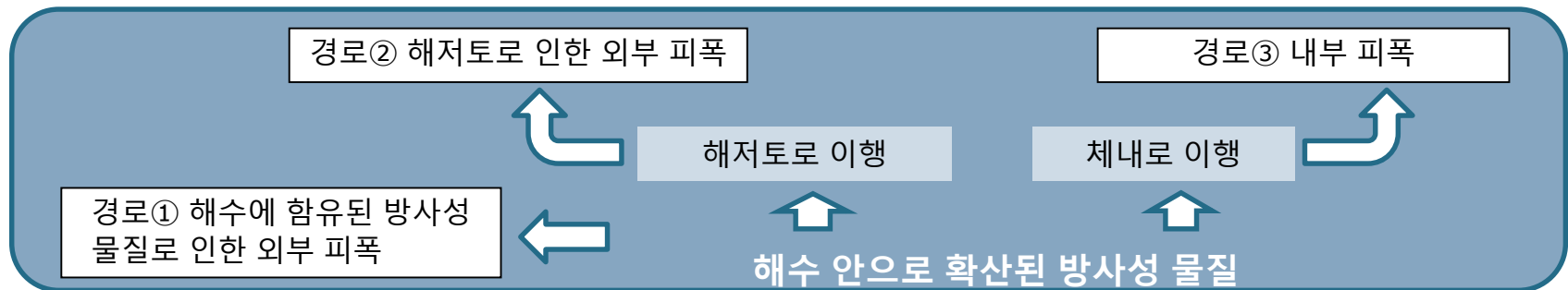
## (1) 이행 경로 및 피폭 경로 (인체 피폭)

■ IAEA 안전 기준 문서나 국내 사례 등을 참고로 설정 (선정 경위 등은 첨부VI '평가대상 이외의 이행경로, 피폭경로에 대하여'에 게재)

※ 외부 피폭에 대해서는 방사성 물질을 희석하여 방출하여 영향이 작을 것으로 예상되므로 감마선만을 대상으로 평가 (\*의 경로)



## (2) 이행 경로 및 피폭 경로 (동식물)



# 환경 내 확산·이행 (평가용 방사성 물질 농도의 산출)

- 삼중수소를 연중 균등하게 방출하고 연간 실제 기상 및 해상 데이터를 사용하여 해역의 삼중수소 농도를 계산
- 발전소 주변 10km×10km 영역에서 삼중수소 연간 평균 농도를 산출
- 물놀이 등으로 인한 수중에서의 외부 피폭, 해변 모래로 인한 외부 피폭, 해수의 음용으로 인한 내부 피폭, 해수의 물보라 해수의 물보라를 흡입함으로써 일어나는 내부 피폭은 모래사장 체류 시에 일어날 수 있는 피폭으로 이를 평가할 지점을 재검토
- 기타 피폭 경로에 대해서는 발전소 주변 10km×10km의 영역에서 평가를 실시
  - 상층 (해수면, 선체로부터의 외부 피폭), 전층 (어망으로부터의 외부 피폭, 해산물 섭취로 인한 내부 피폭), 하층(동식물의 피폭)을 각각 계산
  - 산출된 삼중수소 농도를 방출량과 비례 계산하여 기타 63개 핵종의 농도를 산출
- 또한 평가 대상 해역의 범위에 따른 '결과의 불확실성'에 대해서도 평가하므로 5km×5km 범위 및 20km×10km 범위에 대해서도 피폭 평가를 실시 (첨부XII '피폭 평가에 사용되는 해수 농도의 평가 범위에 따른 영향에 대하여'에 게재)

※ 삼중수소 이외의 핵종도 해수에 녹은 상태로 확산·이행하는 것으로 상정하여 평가.



\* 공동 어업권 비설정 지구

## 선량 평가에 이용되는 해수 농도 평가 지점

출처 : 지리원 지도 (전자국토Web)를 바탕으로 도쿄전력홀딩스 주식회사에서 작성  
<https://maps.gsi.go.jp/#13/37.422730/141.044970/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>

# 대표적 개인 및 표준 동식물 설정

## (1) 대표적 개인 (인체 피폭)

- 생활 습관(외부 피폭)은 '발전용 경수형 원자로 시설의 안전 심사에서의 일반 공중의 선량평가에 대하여' 를 바탕으로 설정
  - 연간 120일(2,880시간) 어업에 종사하며, 그 중 80일(1,920시간)은 어망 근처에서 작업
  - 해안에 연간 500시간 머물며, 96시간 물놀이
- 해산물 연간 섭취량(내부 피폭)은, 최신의 식품 섭취 데이터를 바탕으로 평균적인 섭취량과 어패류를 많이 섭취하는 사람의 섭취량(평균+2σ\*)의 2가지 경우를 평가

표6-1-13 해산물을 평균적으로 섭취하는 개인의 섭취량 (g/일)  
(일본 후생노동성 2019년 국민건강 영양조사[6]를 바탕으로 설정)

	어류	무척추동물	해조류
성인	58	10	11
유아	29	5.1	5.3
영아	12	2.0	2.1

표6-1-14 해산물을 많이 섭취하는 개인의 섭취량 (g/일)  
(일본 후생노동성 2019년 국민건강 영양조사[6]를 바탕으로 설정)

	어류	무척추동물	해조류
성인	190	62	52
유아	97	31	26
영아	39	12	10

## (2) 표준 동식물 (환경 방호)

ICRP Pub.136\*\*에 제시된 해양환경의 표준 동식물 중 표준 편평어, 표준 게, 표준 갈조류를 선정

- 편평어: 주변 해역에 광어·가자미류가 널리 서식하고 있는 중요 수산자원
- 게: 주변 해역에 꽃게류(깨다시꽃게 등) 등이 널리 서식.
- 갈조류: 주변 해역에 모자반과 대항이 널리 분포.

\*σ : 표준 편차

\*\* ICRP Pub.136 "Dose Coefficients for Non-human Biota Environmentally Exposed to Radiation"

# 대표적 개인에 대한 선량 평가

## 외부 피폭 (경로①②③④⑤)

- 선박을 이용한 이동이나 수중 작업 시에 발생하는 해수를 통한 방사선 피폭(경로①③)

피폭량=실효 선량 환산 계수×해수에 포함된 방사성 물질의 농도

- 해수에서 선체나 모래사장 등으로 이행한 방사성 물질을 통한 방사선 피폭 (경로②④⑤)

- 피폭량=실효 선량 환산 계수×이행 계수× 해수에 포함된 방사성 물질의 농도

- 리터 당 1Bq의 방사성 물질에서 사람이 받는 방사선량을 나타내는 '실효 선량 환산 계수'는 '폐지 조치 공사 환경 영향 핸드북'\*1에서 규정하고 있는 계수를 사용.
- 해수에 함유되어 있는 리터 당 1Bq의 방사성 물질에서 선체나 모래사장 등으로 얼마나 방사성 물질이 이행하는지를 나타내는 '이행 계수'는 주로 롯카쇼무라 재처리 공장의 인허가 서류\*2 에서 규정한 계수를 사용. 다만, 모래사장 이행계수는 구 원자력 안전위원회 지침류 \*3 에서 규정한 계수를 사용.

\*1 『발전용 원자로 폐지 조치 공사 환경 영향 평가 기술조사 - 환경 영향 평가 파라미터 조사 연구 (2006년도 경제산업성 위탁조사) 첨부자료 폐지 조치 공사 환경 영향 평가 핸드북』, (재)전력중앙연구소

\*2 『롯데카쇼무라 사업소 재처리 사업 지정 신청서』, 일본원연서비스 주식회사

\*3 『발전용 경수형 원자로 시설의 안전 심사에 있어서의 일반 공중의 선량 평가에 대해서』, 원자력 안전 위원회

# 대표적 개인에 대한 선량 평가

## 내부 피폭 (경로⑥⑦⑧)

피폭량 = 실효 선량 계수 × 섭취율

- 물놀이 중에 실수로 해수를 마시는 경우의 섭취율을 시간 당 0.2리터로 설정(경로⑥)
- 해변에서 파도에 의한 물보라 흡입 시 섭취율(경로⑦)

섭취율 = 해수 중 방사성 물질 농도 × 호흡률 × 물보라의 공기 중 농도 ÷ 해수 밀도

- 호흡율은 구 원자력안전위원회 지침류\*1에서 정한 계수를 사용.
- 물보라의 공기 중 농도는 TECDOC-1759\*2에서 정한 계수를 사용.

- 해산물 섭취에 관한 섭취율(경로⑧)

섭취율 = 해수 중 방사성 물질 농도 × 농축 계수 × 해산물 연간 섭취량

- 실효 선량 계수는 IAEA GSR Part 3\*3에서 규정한 것을 사용
- 농축 계수는 IAEA TRS No.422\*4에서 정한 어류, 무척추동물(오징어, 문어 제외), 해조류의 수치를 사용
- 해산물 시장에서의 희석이나 채취에서 섭취까지의 과정에서 일어나는 각 방사성 물질의 감쇠는 고려하지 않음.
- 해산물의 섭취율은 어류, 무척추동물(새우, 게, 오징어, 문어 포함), 해조류로 분류하여 산출.

\*1 『발전용 경수형 원자로 시설의 안전 심사에 있어서의 일반 공중의 선량 평가에 대해서』, 원자력안전위원회

\*2 IAEA-TECDOC-1759, "Determining the Suitability of Materials for Disposal at Sea under the London Convention 1972 and London Protocol 1996: A Radiological Assessment Procedure"

\*3 IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, "Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards"

\*4 IAEA Technical Report Series No.422, "Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment"



# 대표적 개인에 대한 선량 평가

## 평가기준 (외부 피폭과 내부 피폭의 합산으로 평가)

- 일반 공중의 선량 한도 연간 1mSv와 비교
- 2022년 2월 원자력규제위원회가 방사선 영향 평가 확인 방침과 평가 기준을 바탕으로, 연간 0.05mSv (=연간 50 $\mu$ Sv)를 IAEA 안전 기준의 선량 구속치에 상당한다는 견해를 제시하였기에 이 수치(연간 0.05mSv)를 본 평가의 선량 구속치로 취급함

### 충실한 기재 : 삼중수소를 제외한 핵종의 이행·축적 평가에 대하여 (4장)

- 삼중수소의 연간 방출량의 상한치를 22조Bq로 평가.
- 7년간의 확산 시뮬레이션 계산에서 해양에서의 이류·확산의 연도별 변동 폭이 작은 것을 확인.
- 본래 천천히 진행되는 방사성 물질의 이행과 농축은 빠르게 평형 상태까지 도달한 것으로서 평가.
  - 본 평가는 1년간의 피폭 평가이나, 장기간에 걸친 방출로 인하여 환경 중에 방사성 물질이 축적된 상태에서 실시한 평가이므로, 방출 기간 중 이 이상 높은 수준으로 피폭이 되는 일은 없을 것으로 생각됨.

# 표준 동식물에 대한 선량률 평가

## 동식물

- 동식물에 대해서는 서식 환경에서의 선량률을 평가
- ICRP가 제시한 표준 동식물 및 선량 환산 계수를 사용하여 아래의 계산식으로 계산
- 외부 피폭은 해수에 의한 피폭과 해저토에 의한 피폭을 고려

내부 피폭량 = 내부 선량 환산 계수 × 해수 중 방사성 물질 농도 × 농도비 (경로 ③)

외부 피폭량 = 0.5 × 외부 선량 환산 계수 × 해수 중 방사성 물질 농도 (경로 ①)

+ 0.5 × 외부 선량 환산 계수 × 해수 중 방사성 물질 농도 × 분배 계수 (경로 ②)

- 내부, 외부 선량 환산 계수는 ICRP Pub.136\*<sup>1</sup> 및 Biota DC \*<sup>2</sup> 규정을 사용
- 농도비는 ICRP Pub. 114\*<sup>3</sup>, IAEA TRS-479\*<sup>4</sup> 및 TRS-422\*<sup>5</sup>의 농축 계수 규정을 사용
- 분배 계수는 IAEA TRS-422에서 규정하는 것을 사용 (2.3.OCEAN MARGIN Kds)

## 평가기준

- ICRP가 Pub.124\*<sup>6</sup>에서 제시한 유도 고려 참고 레벨(DCRL)\*<sup>7</sup>과 비교

\*1 ICRP Pub.136, "Dose Coefficients for Non-human Biota Environmentally Exposed to Radiation"

\*2 ICRP BiotaDC 프로그램 v.1.5.1 (<http://biotadc.icrp.org/>)

\*3 ICRP Pub.114, "Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants"

\*4 IAEA Technical Report Series No.479, "Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer to Wildlife"

\*5 IAEA Technical Report Series No.422, "Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment"

\*6 ICRP Pub.124 "Protection of the Environment under Different Exposure Situations"

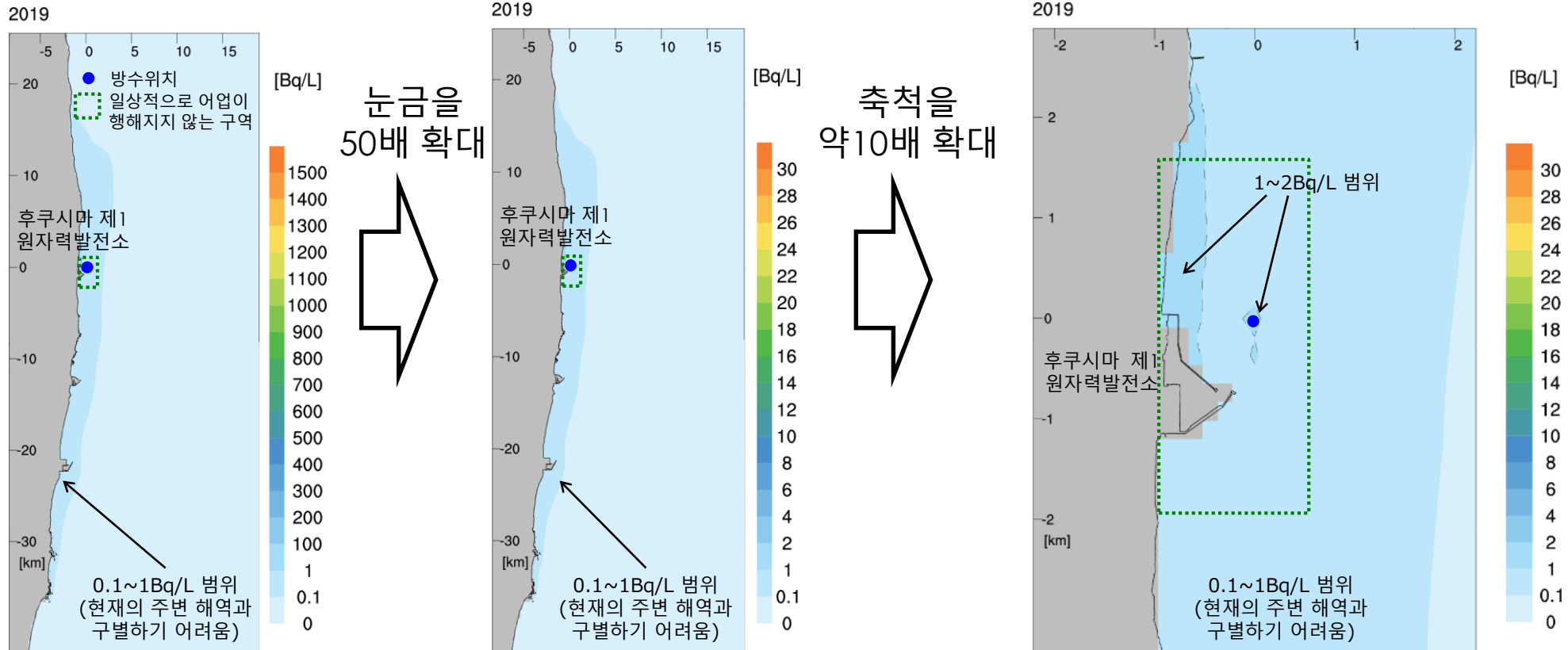
\*7 유도 고려 참고 레벨(Derived Consideration Reference Level, DCRL): ICRP가 제시하는 생물종 별로 정해진 한 자릿수 폭을 가진 선량률 범위. 이를 초과하는 경우에는 영향을 고려할 필요가 있는 선량률 레벨.

1. 평가의 전제가 되는 방출 방법
2. 평가 방법
- 3. 평가 결과**
4. 참고

# 해양에서의 확산 시뮬레이션 결과

2019년의 기상·해상 데이터를 사용하여 평가한 결과, 현재 주변 해역의 해수에 포함된 삼중수소 농도(0.1~1Bq/L※)보다 농도가 높아진다고 평가된 범위 (점선 안쪽 범위) 는 발전소 주변의 2~3km에 그칩.

※ WHO 식수 가이드라인 10,000Bq/L의 10만분의 1~1만분의 1



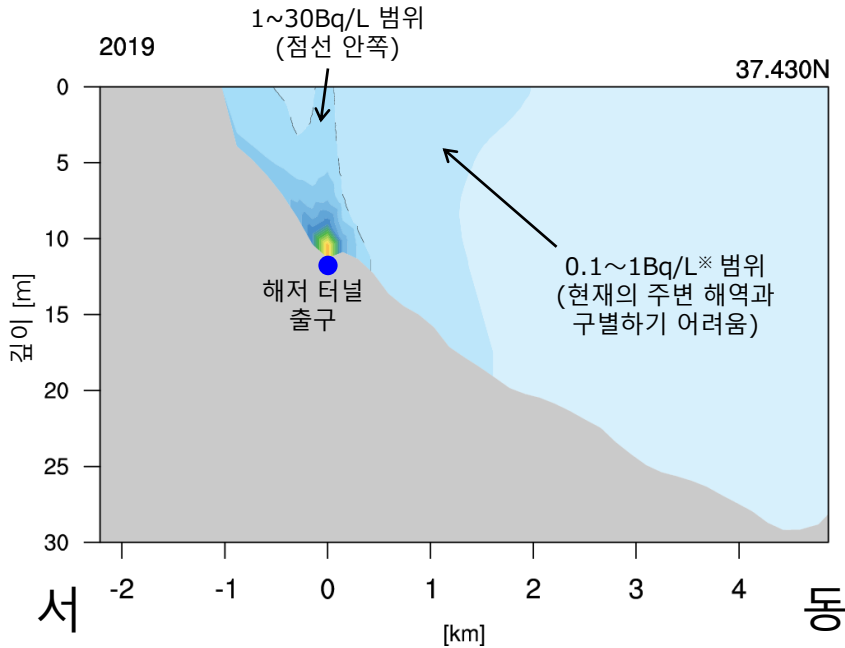
후쿠시마현 앞바다 확대도  
(최대 눈금 30Bq/L로 작성)

발전소 주변 확대도  
(최대 눈금 30Bq/L로 작성)

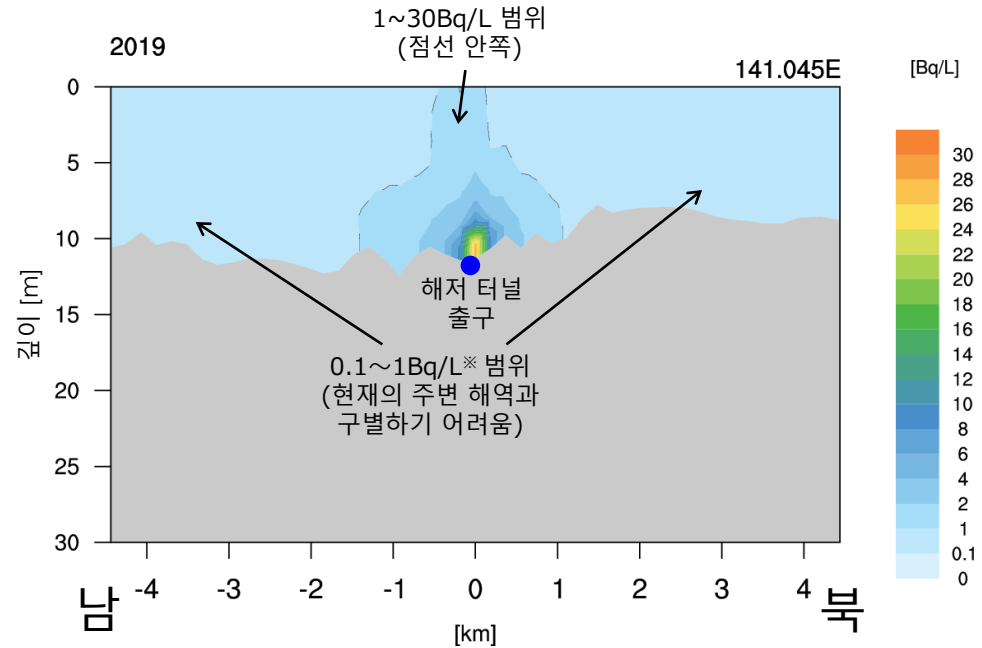
# 해양에서의 확산 시뮬레이션 결과 (터널 출구 주변)

확산 전의 터널 출구 주변에서 빠르게 농도 저하.

또한 ICRP 권고에 따라 규정된 일본 국내 규제 기준(6만Bq/L)이나 **WHO 식수 가이드라인(1만Bq/L)**을 큰 폭으로 밑뎀.



터널 출구 동서 단면도  
(최대 눈금 30Bq/L로 작성)

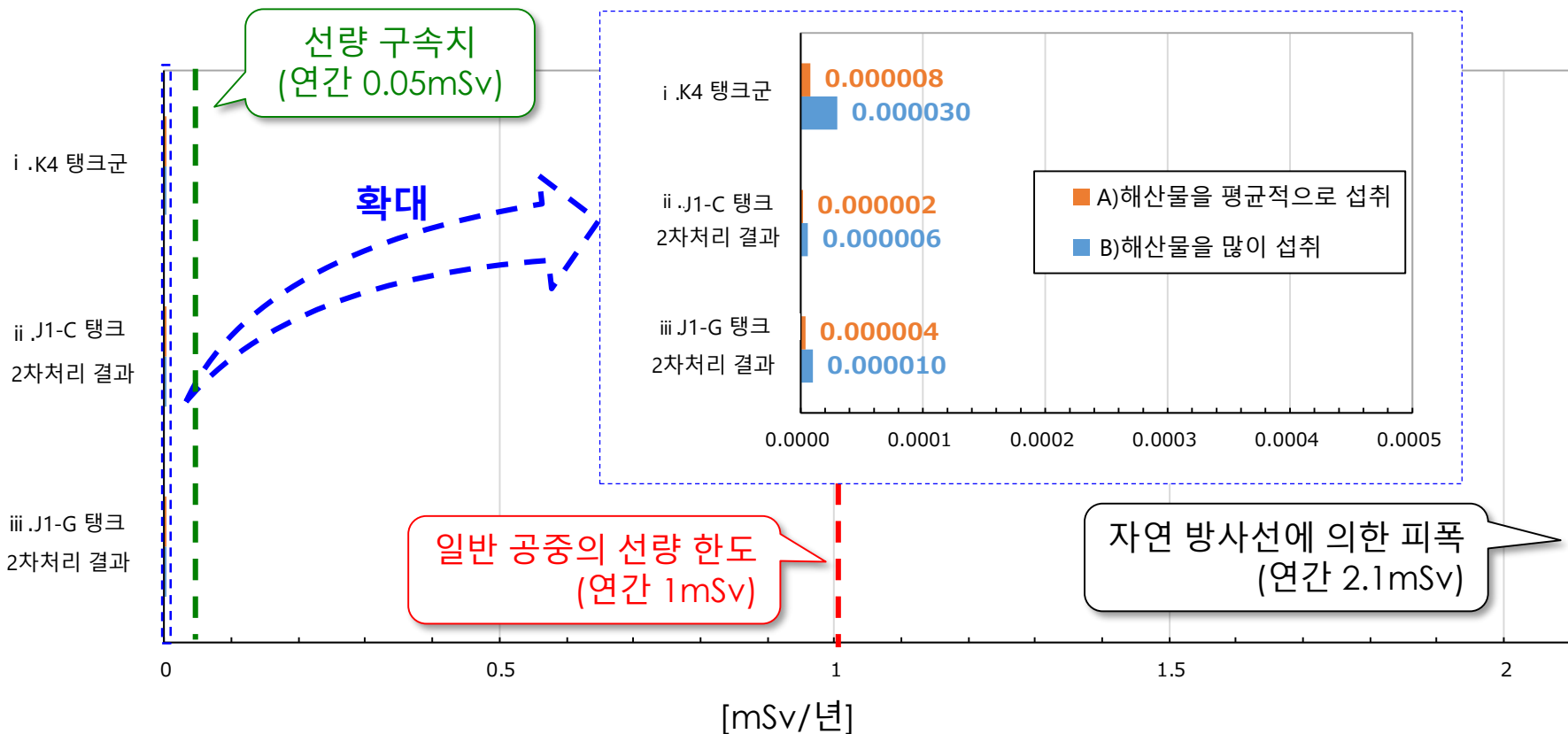


터널 출구 남북 단면도  
(최대 눈금 30Bq/L로 작성)

※WHO 식수 가이드라인 10,000Bq/L의 10만분의 1~1만분의 1

# 사람에 대한 피폭 평가 결과 (건설 단계)

- 일반 공중의 선량 한도(연간 1mSv)의 50만분의 1~약 3만분의 1, 선량구속치에 상당하는 일본 국내의 원자력 발전소에 대한 선량목표치(0.05mSv)와 비교했을 때, 1/25,000~ 약 1/1,700임



(주) 대표로 성인에 대한 결과만 표시함. 이 평가는 한 번도 검출된 적이 없는 불검출 핵종에 대해서도 검출하한치로 존재한다고 가정하여 시산한 것임. 아울러 이 평가는 현시점에서의 결과이며, 앞으로의 검토 상황의 진척이나 사내외의 리뷰 결과 등에 따라 평가를 갱신할 수 있음.

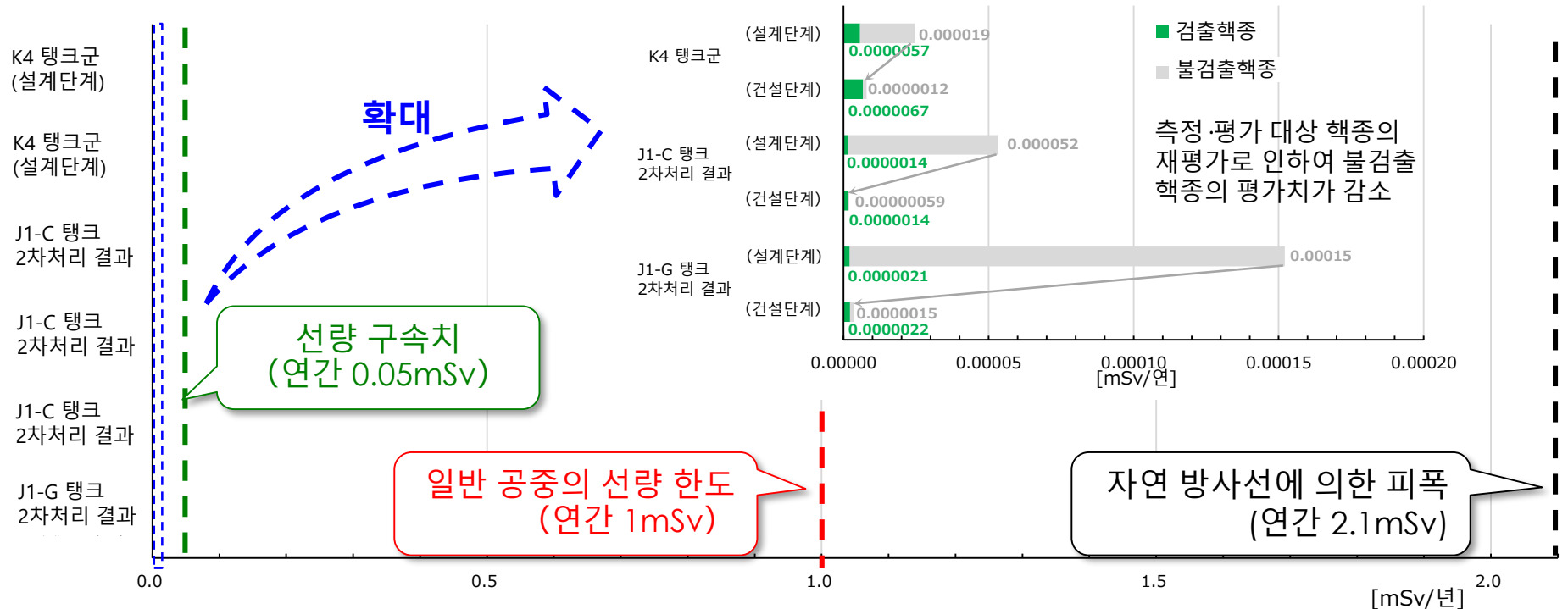
# 방사선원의 재검토로 인한 평가치의 영향

- 설계 단계에서의 평가에서는 '불검출 핵종'에 의한 기여가 대부분을 차지하고 있었으나 측정·평가 대상 핵종의 재검토에 따라 30개 핵종을 방사선원으로 변경한 결과 '불검출 핵종'에 의한 기여가 감소하여 평가 결과는 더욱 저하

- ✓ 향후 평상시보다도 낮은 검출 하한치로 연 1회 정도 측정을 실시하여 불검출 핵종에 의한 영향의 수준을 파악하기 위해 노력한다.

K4: 검출 하한치를 낮춘 상세 분석  
J1-C, J1-G: 지속적으로 운용 가능한 검출 하한치

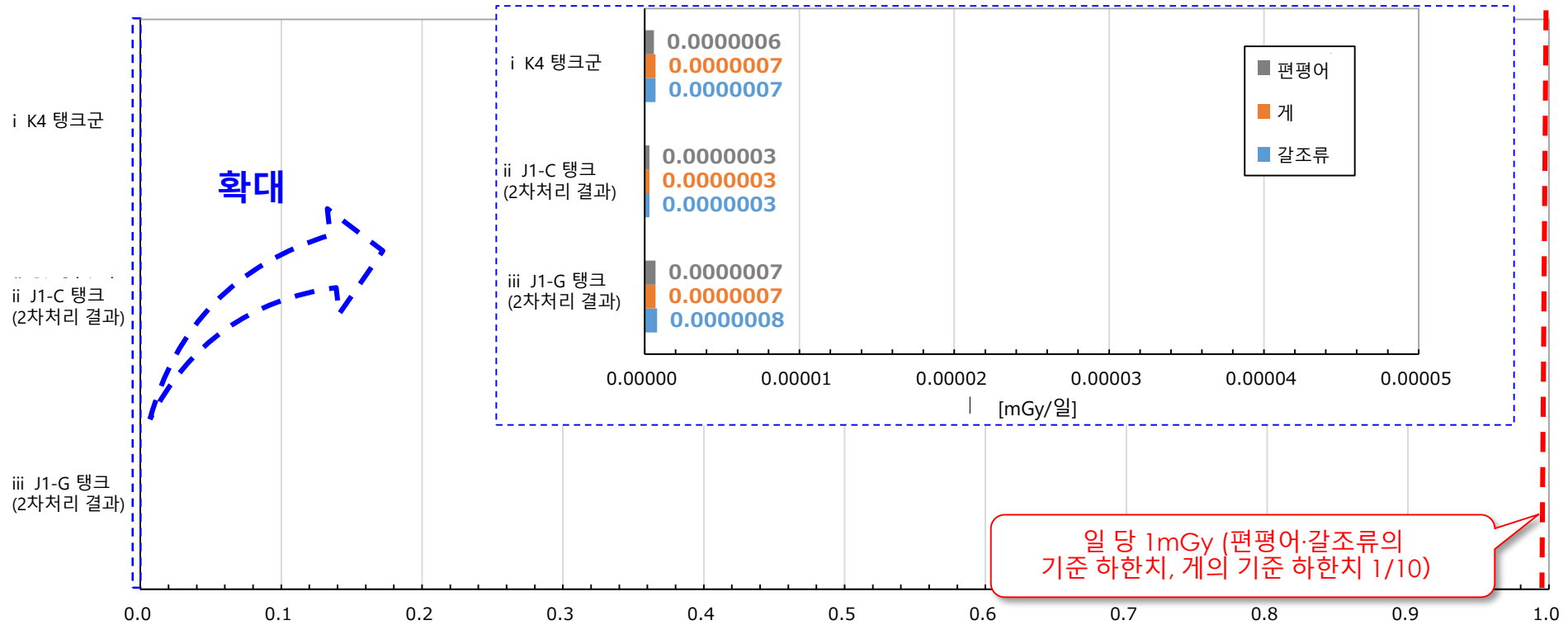
피폭에 있어서의 불검출 핵종의 기여 (해산물을 평균적으로 섭취하는 경우)



(주) 대표로 성인에 대한 결과만 표시함. 아울러 이 평가는 현시점에서의 결과이며, 앞으로의 검토 상황의 진척이나 사내외의 리뷰 결과 등에 따라 평가를 갱신할 수 있다.

# 동식물에 대한 피폭 평가 결과 (건설 단계)

- 평가상의 기준인 유도 고려 참고 레벨\*(편평어 1~10 mGy(밀리그레이)\*\*/일, 계 10~100 mGy/일, 갈조류 1~10 mGy/일)의 하한치에 대하여 약 330만분의 1~125만분의 1 (계는 약 3300만분의 1~약 1250만분의 1)임



일 당 1mGy (편평어·갈조류의 기준 하한치, 계의 기준 하한치 1/10)

이 평가는 한 번도 검출된 적이 없는 불검출 핵종에 대해서도 검출 하한치로 존재한다고 가정하여 시산한 것임. 아울러 이 평가는 현시점에서의 결과이며, 앞으로의 검토 상황의 진척이나 사내외의 리뷰 결과 등에 따라 평가를 갱신할 수 있다.

\* 유도 고려 참고 레벨(Derived Consideration Reference Level, DCRL): ICRP가 제시하는 생물종별로 규정된 한자리 폭을 가진 선량률 범위. 이를 초과하는 경우는 영향이 있음을 고려할 필요가 있는 선량률 레벨.  
 \*\* 그레이(Gy): 물질의 흡수 선량 (흡수한 에너지량)을 나타내는 단위. 시버트는 인체가 받은 방사선에 의한 영향의 크기를 나타내는 단위. 정확히는 '시버트=수정계수×그레이'지만, 감마선과 베타선에서는 거의 같음.



# 잠재 피폭 평가 조건

- 아래 표와 같이 잠재 피폭\*으로 연결될 가능성이 예상되는 현상으로 사례1: 배관 누설과 사례2: 탱크 파손의 두 가지 케이스를 선정하고, 설정한 방출 시나리오에 근거하여 피폭 평가를 실시
- 이행 경로, 피폭 경로, 대표적 개인의 특성은 기본적으로 평상시와 동일하게 함

평가 수단	건설 단계 평가	설계 단계 평가
시나리오의 선정	케이스 1: 배관 누설로 인해 하루 500m <sup>3</sup> 로 20일간 유출 케이스 2: 탱크 파손으로 하루 30000m <sup>3</sup> 가 유출	왼쪽과 동일
방사선원	실측치에 의한 방사선원 (삼중수소를 포함한 30개 핵종)	실측치에 의한 방사선원 (삼중수소를 포함한 64개 핵종)
이행·피폭 경로	평상시의 피폭과 동일	왼쪽과 동일
대표적 개인	평상시와 같은 생활 중에 모래사장 평가 지점에서 피폭, 내부 피폭도 고려	왼쪽과 동일

\*잠재 피폭: 확실하게 발생한다고는 예측되지 않지만, 사고나 불확실한 단일 사건 또는 일련의 사건으로 인해 발생할 수 있는 피폭  
(IAEA GSR Part3 para.1.20(a))

# 잠재 피폭 평가 결과

- 잠재 피폭으로 연결될 가능성이 있는 2개의 시나리오에 대하여 평가를 실시한 결과, 사고 시 기준치인 5mSv\*를 크게 밑도는 결과가 나왔음

\*mSv : 밀리시버트

평가 조건	방사선원 핵종 조성	실측치에 의한 방사선원 ( )는 설계 단계에서의 수치					
		i .K4 탱크군		ii .J1-C 탱크 2차처리 결과		iii .J1-G 탱크 2차처리 결과	
		케이스1	케이스 2	케이스1	케이스 2	케이스1	케이스 2
외부 피폭 (mSv*)	해수면	1.8E-09 (3.5E-08)	8.8E-08 (1.7E-06)	3.5E-09 (4.0E-07)	1.7E-07 (1.9E-05)	2.5E-09 (3.6E-07)	1.2E-07 (1.7E-05)
	선체	1.9E-09 (2.5E-08)	9.4E-08 (1.2E-06)	3.6E-09 (2.8E-07)	1.7E-07 (1.4E-05)	2.5E-09 (2.5E-07)	1.2E-07 (1.2E-05)
	물놀이 중	1.7E-10 (3.3E-09)	8.3E-09 (1.6E-07)	3.3E-10 (3.8E-08)	1.6E-08 (1.8E-06)	2.3E-10 (3.4E-10)	1.1E-08 (1.6E-06)
	모래사장	2.9E-07 (5.8E-06)	1.4E-05 (2.8E-04)	5.6E-07 (6.7E-05)	2.7E-05 (3.2E-03)	4.0E-07 (5.9E-05)	1.9E-05 (2.8E-03)
	어망	8.9E-07 (1.5E-05)	4.3E-05 (8.9E-04)	1.7E-06 (2.1E-04)	8.3E-05 (1.0E-02)	1.2E-06 (1.9E-04)	5.8E-05 (9.1E-03)
내부 피폭 (mSv*)	음용	1.8E-07 (2.4E-07)	8.7E-06 (1.2E-05)	8.7E-07 (9.9E-07)	4.1E-05 (4.7E-05)	2.9E-07 (3.3E-07)	1.4E-05 (1.6E-05)
	물보라 흡입	5.0E-08 (6.9E-08)	2.4E-06 (3.3E-06)	5.4E-07 (6.4E-07)	2.6E-05 (3.1E-05)	3.5E-07 (4.2E-07)	1.7E-05 (2.0E-05)
	해산물 섭취 (많은 경우)	2.6E-04 (7.1E-04)	1.3E-02 (3.4E-02)	2.4E-04 (5.4E-03)	1.2E-02 (2.6E-01)	1.6E-04 (4.9E-03)	7.8E-03 (2.4E-01)
합계 (mSv*)		<b>3E-04 (7E-04)</b>	<b>1E-02 (4E-02)</b>	<b>2E-04 (6E-03)</b>	<b>1E-02 (3E-01)</b>	<b>2E-04 (5E-03)</b>	<b>8E-03 (2E-01)</b>
사고시 피폭 기준치: 5mSv*							

# 【참고】 사람에 대한 방사선 환경 영향 평가 결과 상세

\*mSv : 밀리시버트

평가 조건	방사선원 핵종 조성	실측치에 의한 방사선원					
		i .K4 탱크군		ii .J1-C 탱크 2차처리 결과		iii .J1-G 탱크 2차처리 결과	
		A:평균	B:많음	A:평균	B:많음	A:평균	B:많음
외부 피폭 (mSv*/년)	해수면	4.6E-10(6.5E-09)		1.7E-10(1.7E-08)		3.7E-10(4.7E-08)	
	선체	4.9E-10(4.8E-09)		1.8E-10(1.2E-08)		3.7E-10(3.3E-08)	
	물놀이 중	3.2E-10(4.5E-09)		1.2E-10(1.2E-08)		2.5E-10(3.2E-08)	
	모래사장	5.4E-07(7.8E-06)		2.0E-07(2.1E-05)		4.3E-07(5.6E-05)	
	어망	1.1E-07(1.6E-06)		3.9E-08(4.3E-06)		8.3E-08(1.2E-05)	
내부 피폭 (mSv*/년)	음용	3.4E-07(3.3E-07)		3.1E-07(3.1E-07)		3.1E-07(3.2E-07)	
	물보라 흡입	9.2E-08(9.3E-08)		1.9E-07(2.0E-07)		3.8E-07(4.0E-07)	
	해산물 섭취	6.9E-06 (1.5E-05)	3.1E-05 (6.1E-05)	1.2E-06 (2.8E-05)	5.5E-06 (1.1E-04)	2.6E-06 (7.9E-05)	1.1E-05 (3.0E-04)
<b>합계 (mSv*/년)</b>		<b>8E-06 (3E-05)</b>	<b>3E-05 (7E-05)</b>	<b>2E-06 (5E-05)</b>	<b>6E-06 (1E-04)</b>	<b>4E-06 (1E-04)</b>	<b>1E-05 (4E-04)</b>

**일반 공중의 선량 한도: 1mSv\*/년**  
**선량 구속치에 상당하는 일본 국내 원자력 발전소에 대한 선량 목표치: 0.05mSv\*/년**

# 【참고】 동식물의 방사선 환경 영향 평가 결과 상세

\*mGy : 밀리그레이

평가 사례		실측치에 의한 방사선원		
		i. K4 탱크군	ii. J1-C 탱크군	iii. J1-G 탱크군
피폭 (mGy*/일)	편평어	6E-07 (2E-05)	3E-07 (2E-05)	7E-07 (6E-05)
	계	7E-07 (2E-05)	3E-07 (2E-05)	7E-07 (6E-05)
	갈조류	7E-07 (2E-05)	3E-07 (2E-05)	8E-07 (6E-05)
유도 고려 참고 레벨(DCRL) 편평어: 1-10 mGy*/일      계: 10-100mGy*/일      갈조류: 1-10mGy*/일				

( )는 설계 단계에서의 수치

1. 평가의 전제가 되는 방출 방법
2. 평가 방법
3. 평가 결과
- 4. 참고**

# [참고] 안전 확보를 위한 설비의 전체상

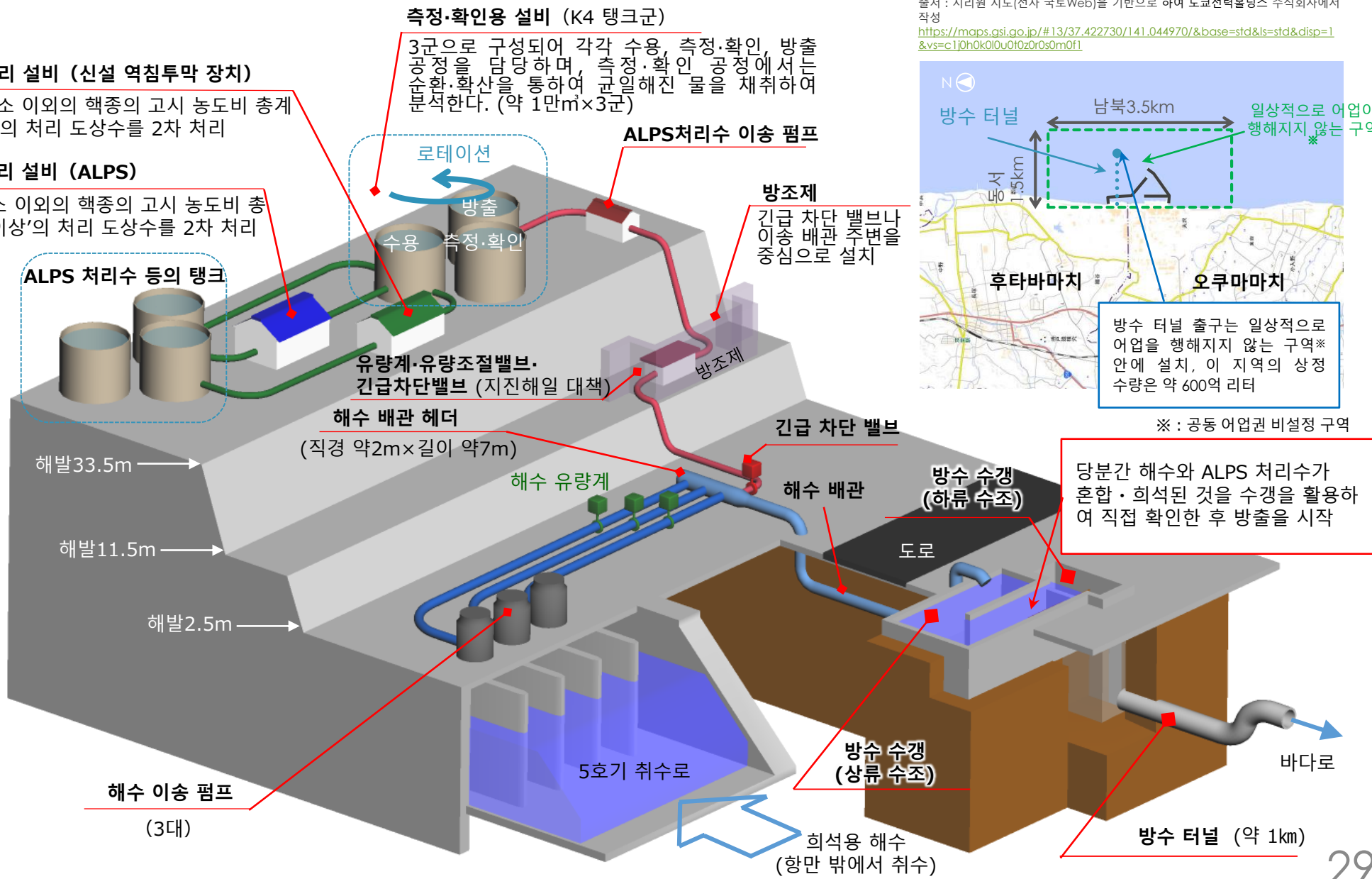
출처 : 지리원 지도(전자 국토Web)을 기반으로 하여 도쿄전력홀딩스 주식회사에서 작성  
<https://maps.gsi.go.jp/#13/37.422730/141.044970/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0i0u0f0z0r0s0m0f1>



방수 터널 출구는 일상적으로 어업을 행해지지 않는 구역\* 안에 설치, 이 지역의 상정 수량은 약 600리터

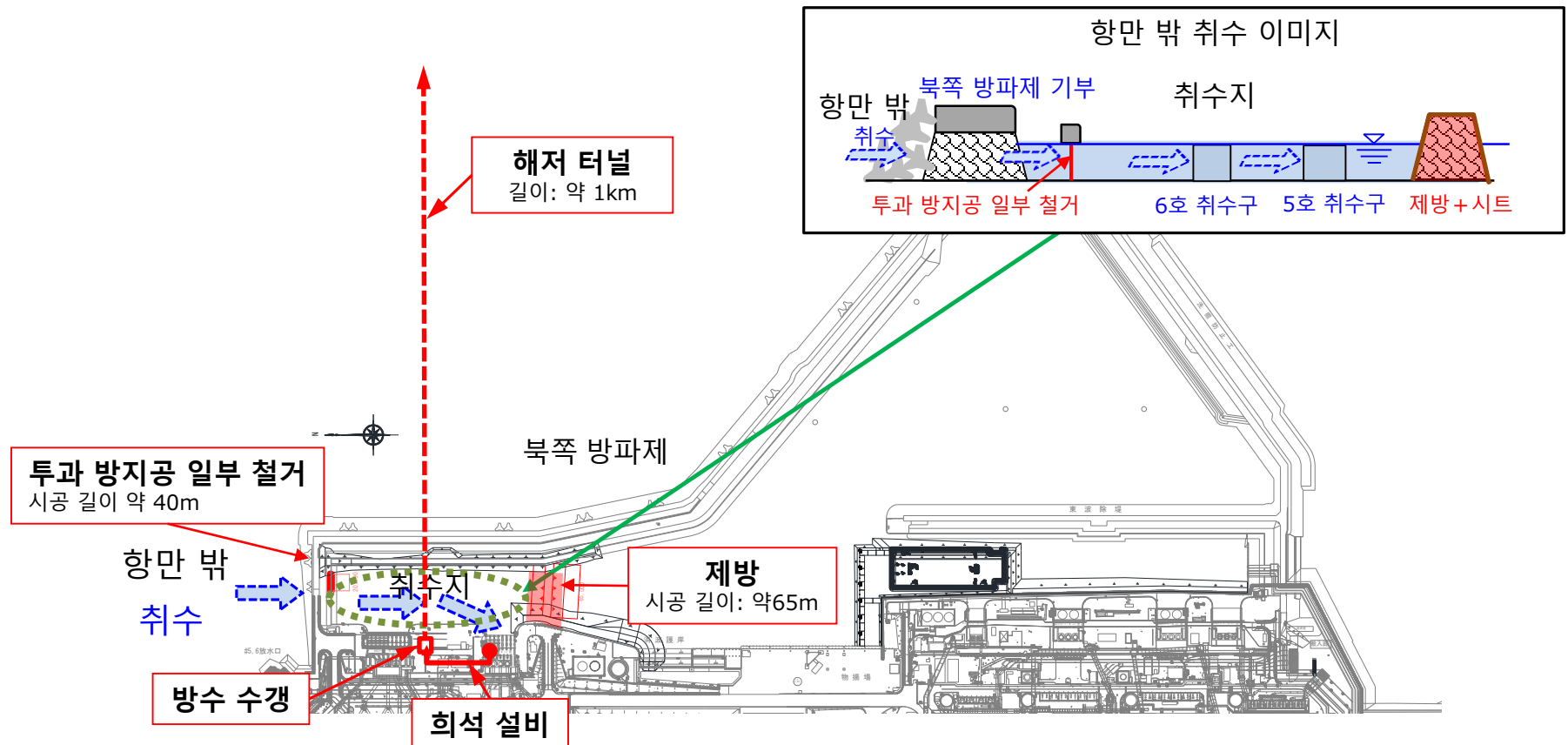
\* : 공동 어업권 비설정 구역

당분간 해수와 ALPS 처리수가 혼합·희석된 것을 수갱을 활용하여 직접 확인한 후 방출을 시작



# 【참고】 항만의 설계

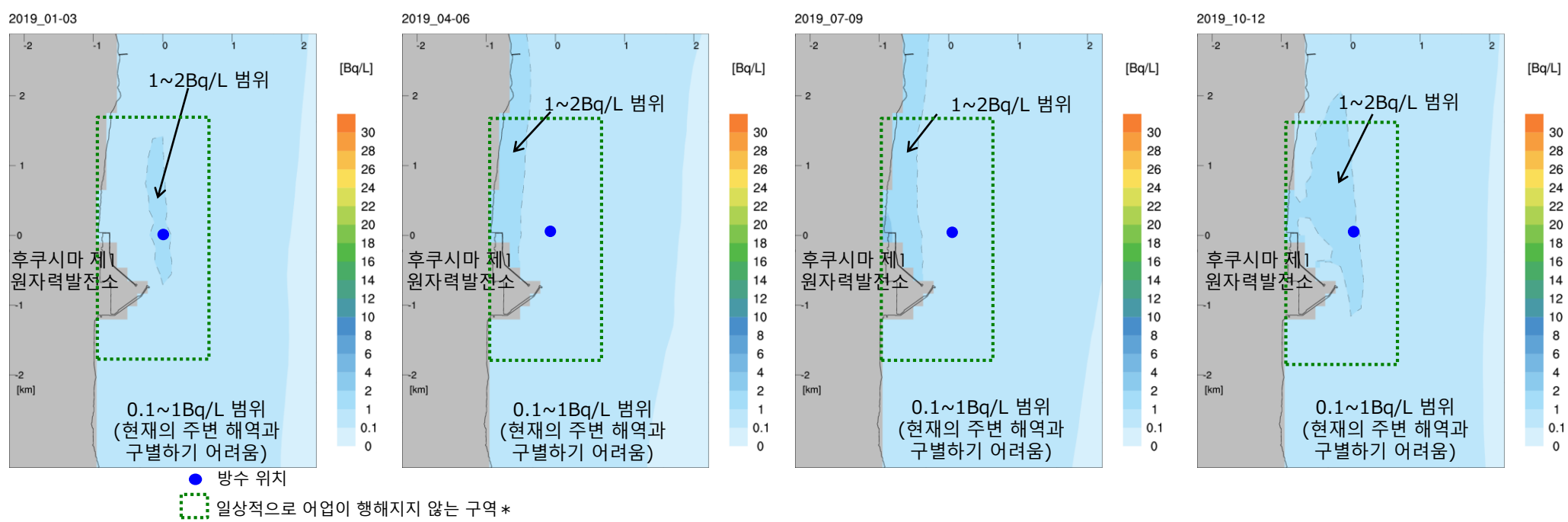
- 북쪽 방파제의 일부를 개조하여 항만 밖의 해수를 희석용으로 취수하고, 제방으로 항만 내와 분리하여 항만 내의 해수가 희석용 해수와 직접 혼합되지 않도록 한다.
- 연안에서 약 1km 떨어진 장소에 방수함으로써 해수가 쉽게 재순환되지 않는 (희석용 해수로서 재취수되지 않는) 설계로 한다.



# [참고] 해양에서의 확산 시뮬레이션 결과 (계절 평균)

현재 주변 해역의 해수에 포함되어 있는 삼중수소의 농도(0.1~1Bq/L※)보다 농도가 높아질 것이라 평가되는 범위(점선 안쪽 범위)는 계절 평균을 고려하더라도 **발전소 주변에 그친다.**

※ WHO 식수 가이드라인 10,000Bq/L의 10분의 1~1만분의 1



1-3월 평균

4-6월 평균

7-9월 평균

10-12월 평균



# 【참고】 해양에서의 확산 시뮬레이션 결과 (확산 경향)

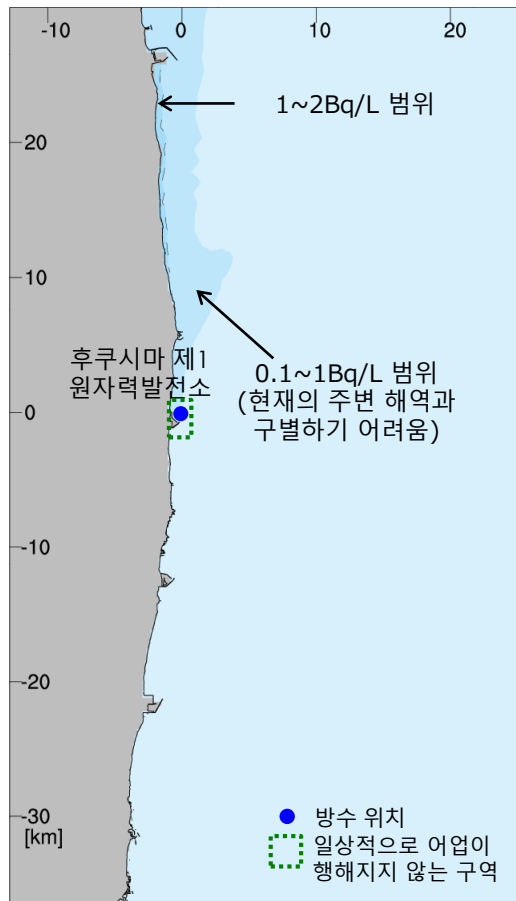
시뮬레이션 결과 중에서 현재 주변 해역의 해수에 포함된 삼중수소 농도(0.1~1Bq/L※)보다 농도가 높아진다 평가된 범위(1Bq/L를 초과하는 범위)가 가장 넓어진 날에도 방출구의 남북 30km 정도 범위에 그친다.

※ WHO 식수 가이드라인 10,000Bq/L의 10분의 1~1만분의 1

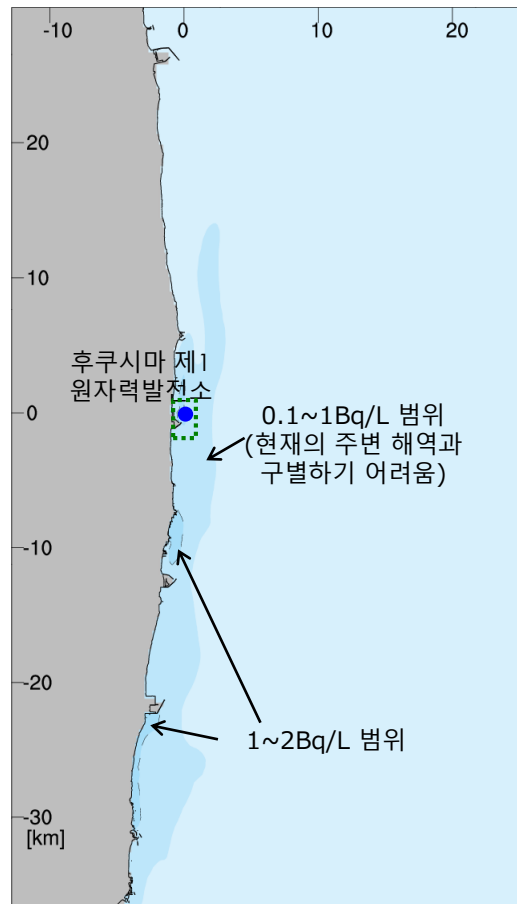
20190521

20190211

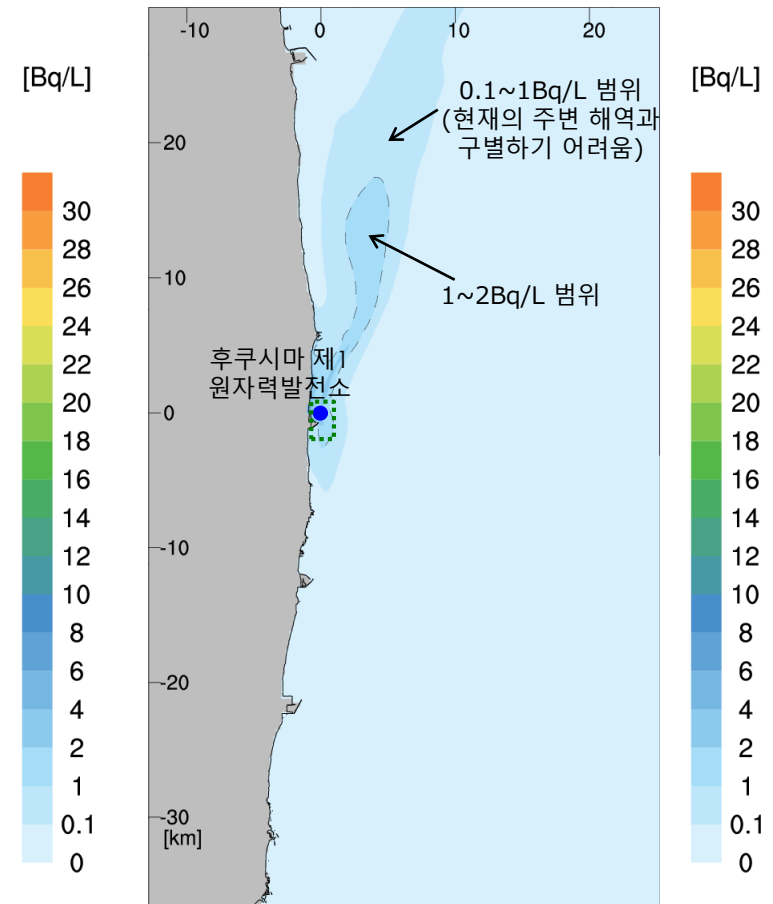
20190829



가장 북쪽으로 확산되는 경우  
(최대 눈금 30Bq/L으로 작성)



가장 남쪽으로 확산되는 경우  
(최대 눈금 30Bq/L으로 작성)



가장 동쪽으로 확산되는 경우  
(최대 눈금 30Bq/L으로 작성)

# [참고] 해양에서의 확산 시뮬레이션 결과 (확산 경향)

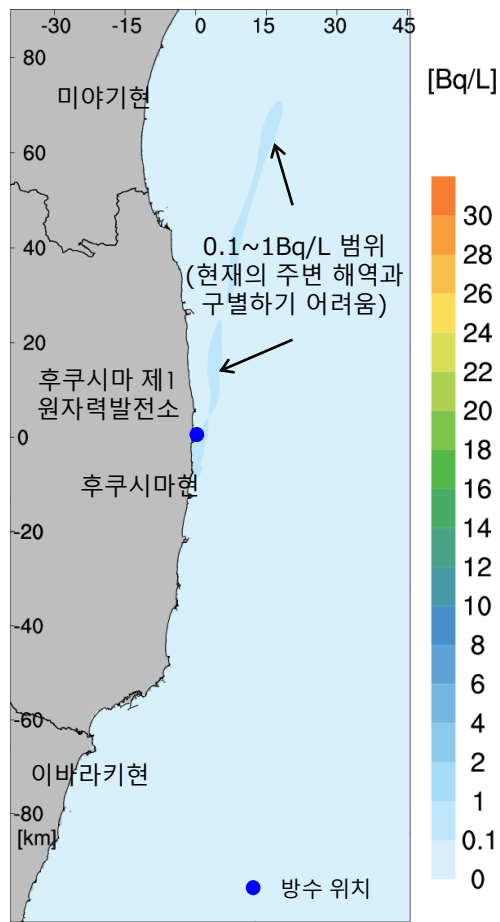
또한 실제 측정에서는 현재 주변 해역의 해수에 포함된 삼중수소 농도(0.1~1Bq/L※)와 구별할 수 없는 낮은 농도(0.1Bq/L 를 초과하는 범위)에 대해서도 시뮬레이션 결과 중 가장 확산된 날의 범위를 확인해 보면 다음과 같은 경향을 볼 수 있다.

※ WHO 식수 가이드라인 10,000Bq/L의 10분의 1~1만분의 1  
20190806

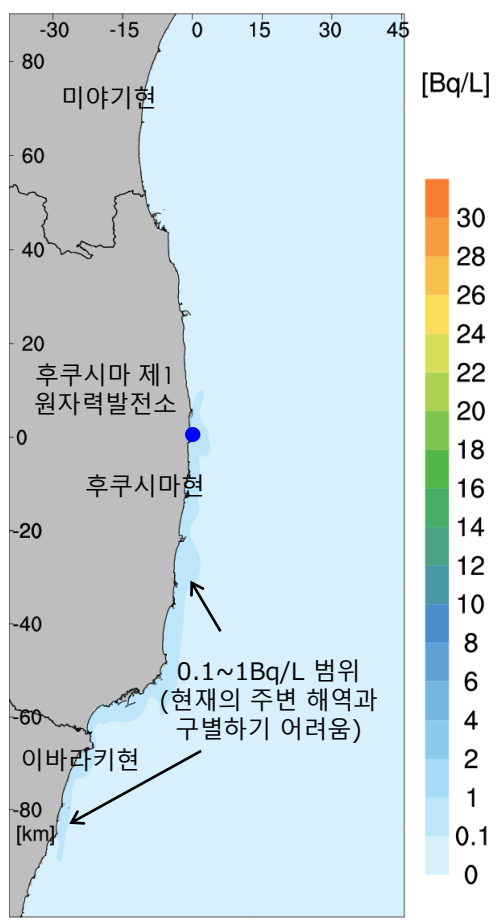
20190827

20191027

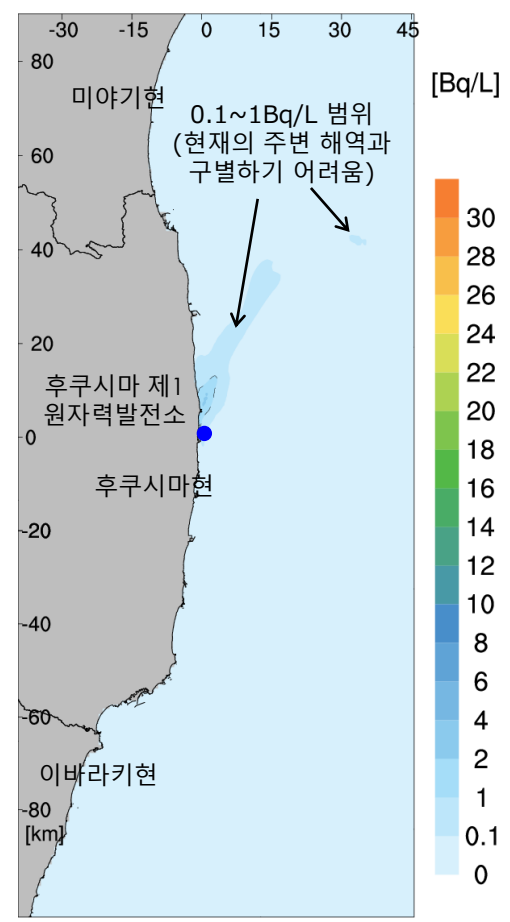
20190806



가장 북쪽으로 확산되는 경우 (최대 눈금30Bq/L으로 작성)



가장 남쪽으로 확산되는 경우 (최대 눈금30Bq/L으로 작성)



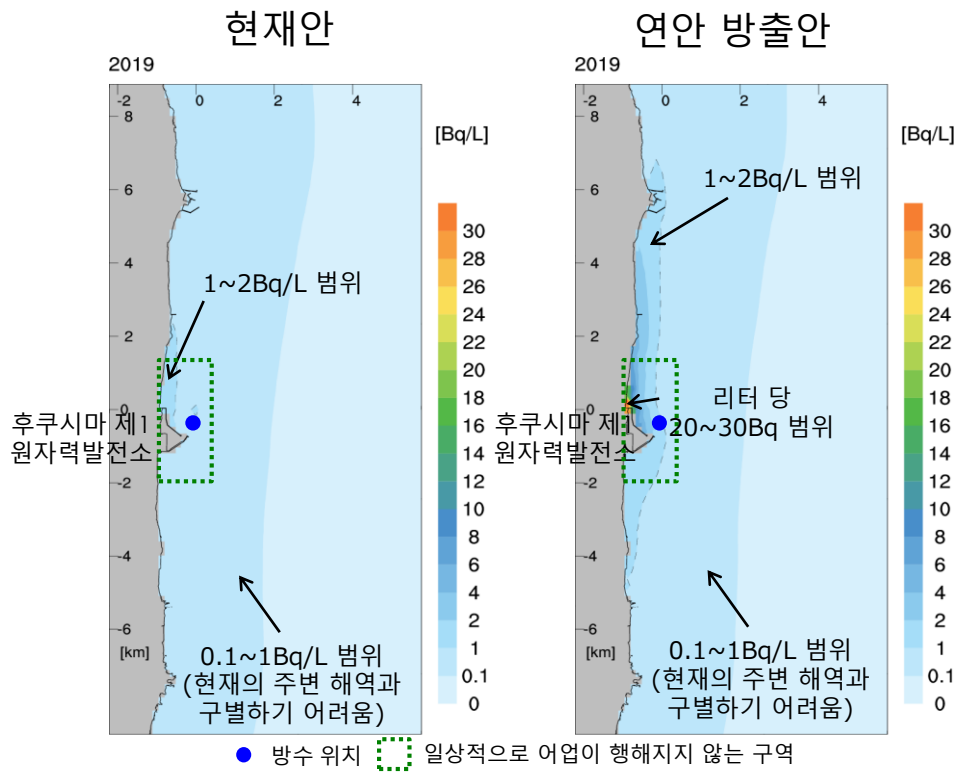
가장 동쪽으로 확산되는 경우 (최대 눈금30Bq/L으로 작성)

# 【참고】 방출 위치의 차이가 확산에 미치는 영향에 대한 고찰 **TEPCO**

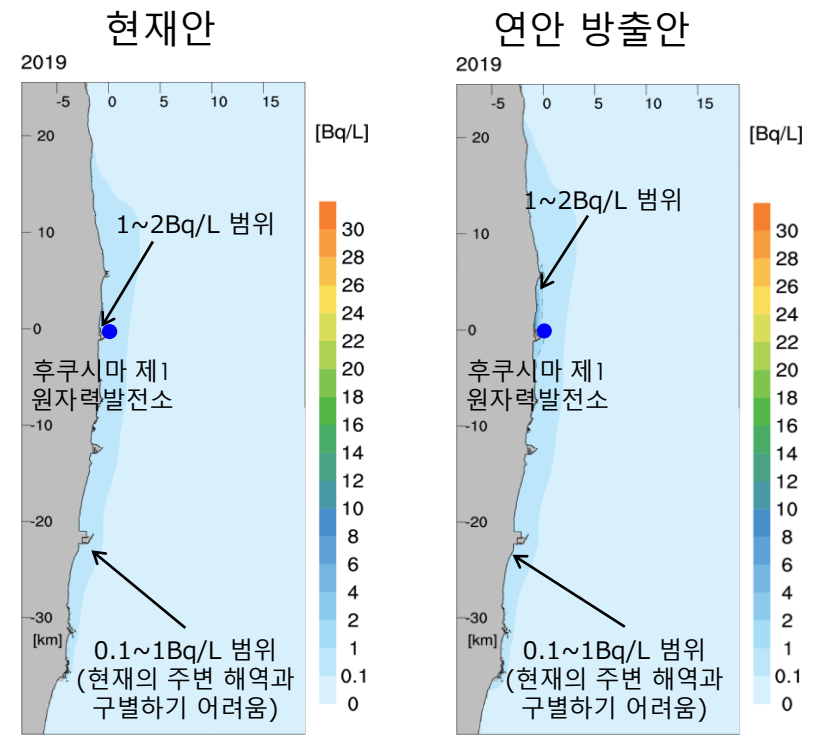
이번 계획에 따른 확산 시뮬레이션과 함께, 방출 위치를 현재의 5·6호기 방수구 위치로 하여 연안 방출 할 경우를 상정한 시뮬레이션도 실시한다 (단 취수 위치에 의한 재순환은 무시).  
 현재 주변 해역의 해수에 포함된 삼중수소 농도(0.11Bq/L\*)보다 농도가 높아진다고 평가되는 범위(점선 안쪽 범위)가 연안 방출의 경우 발전소 주변 67km 범위인 것에 반해 **현재의 안(해저터널)의 경우 23km 범위에 그친다.**

※ WHO 식수 가이드라인 10,000Bq/L의 10분의 1~1만분의 1

## 후쿠시마현 앞바다 확대도

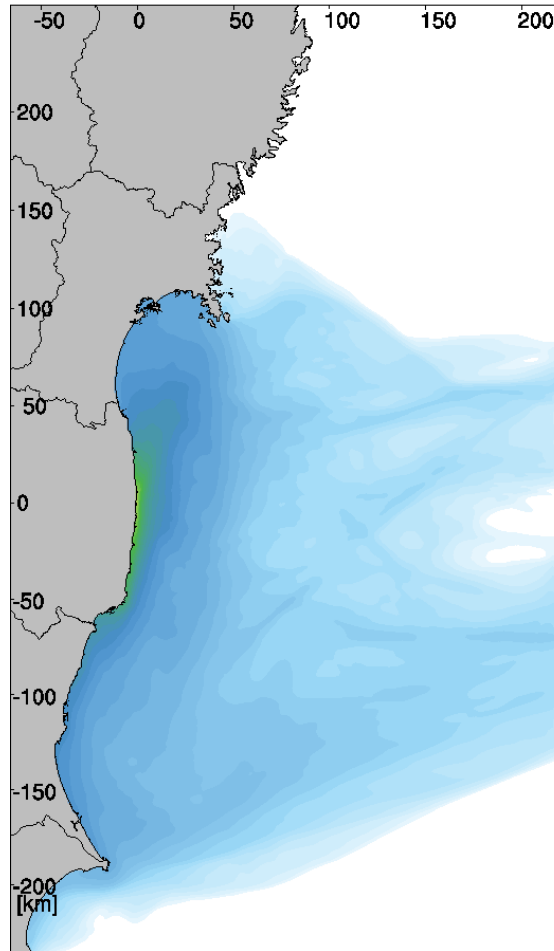


## 광역도



# 【참고】 시뮬레이션의 계산 영역 외의 영향

계산 영역 전체의 연간 평균 농도 분포도  
(2019년, 1E-05Bq/L까지 표시)



숫자는 발전소로부터의 거리 [km]



- 2019년의 기상·해상 데이터를 이용해 계산한 전 영역의 연간 평균 농도를 1E-05Bq/L까지 표시한 결과를 왼쪽 지도 상에 표시함
- 계산 범위 경계에서 2014년~2020년까지의 연간 평균 농도의 최대치는 아래 표에서 볼 수 있듯 모두 동쪽으로 1.1E-04~2.6E-04Bq/L로, 일본 주변 해역에서의 해수 중 삼중수소 농도(약 1.0E-01Bq/L)와 비교해 충분히 낮음
- 발전소 주변 10km×10km 범위의 연간 평균 농도에서 계산한 피폭 평가 결과가 일반 공중의 선량 한도 연간 1mSv는 물론 선량 구속치인 연간 0.05mSv와 비교해도 크게 낮다는 것을 감안하면, 계산 영역 바깥쪽에서는 그 이하의 농도가 되므로 방사선 영향 평가를 실시할 필요가 없다고 사료됨

각 연도의 모델 경계(남북,동)에서의 연간 평균 농도의 최대치와 위치

연도	농도 (Bq/L)	위치 (발전소로부터의 거리)		
		동서	남북	표층에서의 깊이
2014	1.1E-04	동쪽으로 약 218km	남쪽으로 약 162km	약 9.0m
2015	2.6E-04	동쪽으로 약 218km	남쪽으로 약 102km	약 0.6m
2016	1.4E-04	동쪽으로 약 218km	남쪽으로 약 6km	약 5.5m
2017	2.4E-04	동쪽으로 약 218km	남쪽으로 약 30km	약 9.0m
2018	1.9E-04	동쪽으로 약 218km	남쪽으로 약 97km	약 0.6m
2019	1.6E-04	동쪽으로 약 218km	남쪽으로 약 68km	약 1.7m
2020	1.9E-04	동쪽으로 약 218km	남쪽으로 약 25km	약 1.7m

# 【참고】 사람 및 환경에서의 방사선 영향 평가의 전제 조건

- 삼중수소 방출량: 연간 22조 베크렐(Bq)

평가 케이스	i. K4 탱크군	ii. J1-C 탱크 2차처리 결과	iii. J1-G 탱크 2차처리 결과
삼중수소 농도 [Bq/L]	14만	72만	24만
연간 ALPS처리수 방출량 [m <sup>3</sup> /년]	16만	3.1만	9.2만

- 해양에서의 이류·확산을 고려하여 후쿠시마 제1원자력발전소 주변 10km×10km 권 내의 평균 해수 농도를 사용하여 평가
  - ✓ 영역 해양 모델 'ROMS:Regional Ocean Modeling System'을 일반재단법인 전력중앙연구소에서 후쿠시마 앞바다에 적용한 모델을 사용

- 피폭 경로로 아래 경로를 설정

사람에 대한 방사선 영향 평가	환경에 대한 방사선 영향 평가
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓해수면으로 인한 외부 피폭</li> <li>✓선체로 인한 외부 피폭</li> <li>✓물놀이 등에 인한 외부 피폭</li> <li>✓모래사장의 모래로 인한 외부 피폭</li> <li>✓어망으로 인한 외부 피폭</li> <li>✓해수 음용으로 인한 내부 피폭</li> <li>✓해수의 물보라를 흡입함으로써 일어나는 내부 피폭</li> <li>✓해산물 섭취로 인한 내부 피폭</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓해수로 인한 외부 피폭</li> <li>✓해저의 침전물로 인한 외부 피폭</li> <li>✓체내에 들어온 방사성 물질로 인한 배부 피폭</li> </ul>

# 【참고】 주요 IAEA 리뷰 결과에 대한 대응

IAEA 리뷰에 대한 의견	당사의 대응
<p>평가 대상 핵종 중 상대적으로 피폭 영향이 크고 반감기가 긴 탄소14와 요오드129에 관해 어떠한 피폭 평가를 해야 하는지에 관한 논의를 방사선 환경 영향 평가 보고서에 포함할 것.</p>	<p>탄소14와 요오드129에 대해서는 이미 환경 중에 방출되고 있는 것과 비교해 그 양이 적다는 점에서 지구 규모의 영향은 무시할 수 있을 정도라 판단되기 때문에 대표적 개인에 대해서만 평가를 실시한다는 내용의 기재를 추가했다. (제4장(4) 및 (5))</p>
<p>환경 중에서의 방사성 핵종의 축적에 대해 도쿄전력이 해수와 해저토 사이의 평형상태를 가정함으로써 선량이 가장 높은 상태와 동등한 수십 년 후의 선량 예측을 실시하고 있음을 명확히 기재할 것.</p>	<p>해수와 해저토 사이의 평형상태를 가정함으로써 장기간 축적을 고려한 평가임을 명확히 했다. (제4장 (3))</p>
<p>‘발전소로부터 3km 떨어진 모래사장 지점에서 어획된 해산물만을 섭취하는 경우’를 상정하지 않아도 되는 이유를 보다 명확하게 기재할 것.</p>	<p>발전소로부터 3km의 모래사장 지점에서의 어획은 낚시 등이 상정되는데 낚시 등에 의해 포획된 어패류는 연간 섭취되는 어패류의 극히 일부인 점, 이 지점도 해산물 섭취에 의한 피폭 평가 대상으로 한 10km×10km권 내의 일부인 점, 이미 섭취되는 어패류가 모두 10km×10km권 내에서만 포획된 것이라고 보수적으로 설정되어 있는 점을 감안해서 평가가 필요하지 않다고 기재했다. (제6장 6-1-2(4))</p>
<p>유기결합형 삼중수소(OBT)의 환경 중에서의 이행과 그와 관련된 선량 평가에 불확실성이 존재하므로, 그것을 고려한 OBT의 영향과 불확실성에 관한 평가 결과에 대해 기재할 것.</p>	<p>환경 중에서의 OBT의 움직임에 대해 불확실성이 존재한다는 것과 불확실성이 있다고 하더라도 삼중수소에 의한 피폭이 피폭 평가치 전체에서 차지하는 비율이 작고, 선량 평가 전체에 미치는 영향이 매우 경미하다는 사실을 추가로 기재했다. (제8장 8-2-5 및 첨부 III)</p>
<p>모델 영역 밖으로의 영향 평가를 위해, 삼중수소 농도 뿐만이 아니라 탄소14나 요오드129 등 ‘선량에 대한 영향이 큰 핵종’의 모델 경계에서의 농도도 기재할 것.</p>	<p>영역 경계에 있어서의 탄소14와 요오드129 농도의 최대값을 추가하는 동시에, 양쪽 농도 모두 해당 해역의 백그라운드와 비교해 낮기 때문에 외부 영역을 포함한 시뮬레이션을 추가할 필요가 없다는 취지의 기재를 추가했다.(첨부 VII)</p>
<p>방사선 방호의 최적화에 대한 기재를 더 자세히 기재할 것.</p>	<p>IAEA SF-1, GSR Part3 및 GSG-9을 중심으로 방호의 최적화에 관한 기재를 추가했다.(참고G)</p>